

# MELHORIA DO PROCESSO DE PICAGEM DA EMPRESA SNA EUROPE ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO

**HUGO ALEXANDRE CRISTELO VIANA**

julho de 2017

# MELHORIA DO PROCESSO DE PICAGEM DA EMPRESA SNA EUROPE ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO

Hugo Alexandre Cristelo Viana

**2017**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Mestrado Engenharia e Gestão Industrial



## **MELHORIA DO PROCESSO DE PICAGEM DA EMPRESA SNA EUROPE ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO**

Hugo Alexandre Cristelo Viana  
1030613

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Professor Doutor Luís Pinto Ferreira e Coorientação do Professor Doutor Francisco Silva.

**2017**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Mestrado Engenharia e Gestão Industrial





## JÚRI

### **Presidente**

Maria Teresa Ribeiro Pereira

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

### **Orientador**

Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

### **Co-orientador**

Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

### **Arguente**

Nuno Octávio Garcia Fernandes

Professor Adjunto, Escola Superior de Tecnologia, Instituto Politécnico de Castelo Branco



## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer à empresa SNA Europe [Industries] LDA e a todos os seus colaboradores, em particular ao Engenheiro Fernando Oliveira, pelo apoio e companheirismo demonstrado ao longo da realização do estágio.

Um sincero agradecimento ao meu orientador, Prof. Doutor Luís Pinto Ferreira o qual foi incansável no apoio prestado e ao meu co-orientador Prof. Doutor Francisco Silva por toda a ajuda prestada, tornando possível a realização deste trabalho.

Para finalizar, importa referir o apoio prestado por todos os amigos e familiares abordados pelas diversas razões relacionadas com as variadas áreas envolvidas na elaboração deste trabalho. Em particular quero agradecer à minha companheira Marisa Nunes por toda a compreensão, apoio e motivação prestados ao longo da elaboração deste trabalho.



## **PALAVRAS CHAVE**

Simulação, Melhoria, Células de Produção, Estratégias de Controlo

## **RESUMO**

Atualmente a sociedade encontra-se imersa na era digital, onde geralmente se confunde o virtual com o real. O desenvolvimento de novas tecnologias contribuem para um aumento, considerável, da qualidade de vida da população e promovem a sua longevidade. Com a finalidade de aumentar os lucros e a sustentabilidade das empresas, a indústria acompanhou este desenvolvimento, procurando automatizar toda a plataforma fabril. Para tal é necessário recorrer a plataformas de simulação, na medida em que se torna insustentável e demasiado dispendioso parar uma linha fabril completa, para realizar testes de melhoria dos parâmetros de funcionamento da mesma.

O presente trabalho foi realizado em contexto industrial na empresa SNA Europe empresa do grupo Americano Snap-on (USA), consistindo no desenvolvimento de modelos de simulação, com o intuito de testar várias configurações do processo de picagem de limas, com o intuito de avaliar a possibilidade de alterar a sua configuração, designadamente através da introdução de processos automatizados, em detrimento do processo manual atual. Foi desenvolvida uma aplicação informática denominada por GAMS CPL (geração automática de modelos de simulação de células de picagem de limas), visando a geração automática de modelos de simulação com diferentes estratégias de controlo, que contribui para o apoio à tomada de decisões por parte do utilizador, relacionadas com a melhoria do processo de picagem de limas. Este processo é constituído por várias células correspondentes aos diferentes comprimentos das limas e ao tipo de picagem, a qual pode ser simples ou dupla. As células de produção são compostas por diferentes máquinas e são concebidas para produzir uma família de produtos de forma flexível, podendo ser operadas por um número variável de operadores. O operador realiza a movimentação da lima ao longo da célula, colocando-a de forma manual na máquina, posteriormente esta executa o procedimento de forma automática.

Pretende-se que o recurso à simulação em ambiente ARENA permita, ao utilizador identificar novas configurações do processo, redução do tempo de operação por parte do operador, bem como o aumento da taxa de ocupação dos equipamentos e das quantidades de unidades produzidas. A ferramenta de apoio à decisão desenvolvida permite validar o impacto de estratégias alternativas de controlo na produção, contribuindo para um maior conhecimento do sistema de produção em análise. O aspeto inovador desta ferramenta reside no seu carácter genérico, no elevado índice de flexibilidade, do ponto de vista do processo físico e das estratégias de controlo, e na simplicidade de parametrização.



**KEYWORDS**

Simulation, Improvement, Production Cells, Control Strategies

**ABSTRACT**

Today society is immersed in the digital age, where the virtual is usually confused with the real. The development of new technologies contribute to a considerable increase in the quality of life of the population and promote their longevity. In order to increase the profits and the sustainability of the companies, the industry followed this development trying to automate the entire manufacturing platform. To do so, it is necessary to use simulation platforms, as it becomes unsustainable and too costly to stop a complete factory line to perform tests to improve the operating parameters of the same.

The present work was carried out in an industrial context at SNA Europe, a company of the American group Snap-on (USA), consisting in the development of simulation models, in order to test various configurations of the mechanical conformation process of files, in order to evaluate the possibility of changing its configuration, namely through the introduction of automated processes, in detriment of the current manual process. A computer application was developed called GAMS CPL (automatic generation of simulation models in mechanic conformation cells of files), aiming at the automatic generation of simulation models with different control strategies that contributes to the support to the decision making by the user, related to the improvement of the mechanical conformation process of files. This process consists of several cells corresponding to the different lengths of files and the type of mechanic conformation, which can be single or double. The production cells are composed by different machines and are designed to produce a family of products in a flexibly way and can be operated by a variable number of operators. The operator moves the file along the cell, placing it manually in the machine, and then it executes the procedure automatically.

It is intended that the use of simulation in the ARENA environment allows the user to identify new process configurations, reduce the operator's operating time, as well as increase the occupation rate of the equipment and the quantities of units produced. The decision support tool developed validates the impact of alternative control strategies related with the production, contributing to a better knowledge of the production system under analysis. The innovative aspect of this tool lies in its generic nature, high flexibility index, from the point of view of the physical process and control strategies, and in the simplicity of parameterization.





## LISTA DE SÍMBOLOS UNIDADES E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

GAMS CPL	Gerador Automático de Modelos de Simulação da Célula de Picagem
HRC	Dureza de um material em Rockwell (método de medição de dureza)
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
JIT	<i>Just in Time</i>
PC	Computador Pessoal
R&D	Pesquisa e Desenvolvimento
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
TPS	<i>Toyota Production System</i>
USA	Estados Unidos da América
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>
WIP	<i>work in process</i>

### Lista de Unidades

cm <sup>2</sup>	Centímetro Quadrado
h	Hora
In	Polegadas (1 polegada = 2,54 cm)
min	Minuto
s	Segundo

### Lista de Símbolos

N	Número de leituras necessárias
$\mu$	Variável da população
%	Percentagem
"	Polegadas
S	Desvio padrão
X	Média
Z	Variável fulcral



## GLOSSÁRIO DE TERMOS

<i>Lean</i>	Filosofia de melhoria continua, que assenta na eliminação de desperdícios.
<i>Six Sigma</i>	Filosofia utilizada na medição dos defeitos de produtos e melhorias de qualidade para os mesmos.
<i>Software</i>	Sequência de instruções escritas para serem interpretadas por um computador com o objetivo de executar tarefas específicas.
<i>Takt Time</i>	Tempo disponível para produzir, a dividir pelas necessidades do cliente.



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – CRONOGRAMA DA HISTÓRIA DA SNA EUROPE [SNA1].	31
FIGURA 2 – SNA EUROPE [INDUSTRIES] LDA, SITUADA EM VILA DO CONDE PORTUGAL [SNA4].	31
FIGURA 3 – SNA EUROPE [INDUSTRIES] EVOLUÇÃO DE VENDAS ENTRE 2012 E 2016 [SNA6].	32
FIGURA 4 – SNA EUROPE [INDUSTRIES] PRODUTOS FABRICADOS.	32
FIGURA 5 – LOCALIZAÇÕES DA SNA EUROPE [INDUSTRIES] LDA, PELO MUNDO [SNA1].	33
FIGURA 6 – MERCADOS DE ATUAÇÃO DOS VÁRIOS PRODUTOS FABRICADOS NA SNA EUROPE [SNA5].	33
FIGURA 7 – DOMÍNIOS INVESTIGADOS DA FABRICAÇÃO CONTEMPORÂNEA [MOURTIZIS ET AL. 2014].	37
FIGURA 8 – EXEMPLOS DE VÁRIAS APLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO [WEB1].	38
FIGURA 9 – EXEMPLOS DE ÁREAS DE APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO [WEB2].	40
FIGURA 10 – ETAPAS DE UM ESTUDO DE SIMULAÇÃO [BANKS ET AL. 2004].	41
FIGURA 11 – SEQUENCIA DE PROCESSOS SEGUNDO O CONCEITO <i>ONE PIECE FLOW</i> .	47
FIGURA 12 – EXEMPLO DO <i>COMBINATION SHEET</i> [ADAPTADO DA SNA EUROPE].	48
FIGURA 13 – EXEMPLOS DO <i>STANDARD WORK</i> [ADAPTADO DA SNA EUROPE].	48
FIGURA 14 – MAPEAMENTO DO PROCESSO DE FABRICO DE LIMAS CHATAS NA SNA EUROPE.	49
FIGURA 15 – SEQUENCIA DE FABRICO DAS LIMAS CHATAS PRODUZIDAS PELA SNA.	50
FIGURA 16 – BOBINE DE MATERIAL UTILIZADO NA ALIMENTAÇÃO AUTOMÁTICA DA PRENSA [WEB3].	50
FIGURA 17 – PRENSA MECÂNICA COM SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO PROGRESSIVO [WEB4].	51
FIGURA 18 – REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO [ADAPTADO DA SNA EUROPE].	51
FIGURA 19 – EXEMPLO DA LIMA NA FASE INICIAL E FASE FINAL DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO.	52
FIGURA 20 – EXEMPLO DE PICAGEM SIMPLES E PICAGEM DUPLA.	52
FIGURA 21 – ETAPAS DO PROCESSO DE PICAGEM SIMPLES DO MODELO 1- 143 - 6.	53
FIGURA 22 – REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE PICAGEM [ADAPTADO DA SNA EUROPE].	54
FIGURA 23 – REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE TÊMPERA [ADAPTADO DA SNA EUROPE].	54
FIGURA 24 – REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE EMBALAMENTO [ADAPTADO DA SNA EUROPE].	55
FIGURA 25 – EXEMPLOS DE EQUIPAMENTO UTILIZADO NUM ESTUDO DE TEMPOS.	59
FIGURA 26 – <i>LAYOUT</i> DO PROCESSO DE PICAGEM DE LIMAS CHATAS SIMPLES E DUPLAS.	60
FIGURA 27 – MODELOS DE LIMAS EM ESTUDO.	61
FIGURA 28 – MODELOS DE LIMAS DE 6".	61
FIGURA 29 – FLUXOGRAMA DA SEQUÊNCIA DE PROCESSOS DO MODELO 1 – 143 - 06.	63
FIGURA 30 – FLUXOGRAMA DA SEQUÊNCIA DE PROCESSOS DO MODELO 4 – 138 - 06.	63
FIGURA 31 – EXEMPLO DO MODELO DO SISTEMA EM ARENA.	65
FIGURA 32 – EXEMPLO DO MODELO DE ANIMAÇÃO EM ARENA.	65
FIGURA 33 – EXEMPLO DO MÓDULO INICIAL DE PARAMETRIZAÇÃO DO TEMPO DE PROCESSAMENTO.	65
FIGURA 34 – MÁQUINA DE PICAGEM ATUAL E MÁQUINA DE PICAGEM AUTOMÁTICA [SNA].	66
FIGURA 35 – FLUXOGRAMA DA MELHORIA DO MODELO 1 – 143 - 06.	67
FIGURA 36 – FLUXOGRAMA DA MELHORIA DO MODELO 4 – 138 - 06.	67
FIGURA 37 – RESULTADOS OBTIDOS NA MELHORIA DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO (1-143-XX-01).	70
FIGURA 38 – RESULTADOS OBTIDOS NA MELHORIA DO PROCEDIMENTO DE PICAGEM DO CANTO.	72
FIGURA 39 – RESULTADOS OBTIDOS NA MELHORIA DO PROCEDIMENTO DE PICAGEM DA FACE.	72

FIGURA 40 – RESULTADOS OBTIDOS NA MELHORIA DO MODELO DE SIMULAÇÃO (4-138-XX-01).	73
FIGURA 41 – RESULTADOS OBTIDOS NA MELHORIA DO PROCEDIMENTO DE PICAGEM DAS FACES.	75
FIGURA 42 – FLUXOGRAMA DA SEQUÊNCIA DE PROCESSOS DO MODELO 1 – 100 - 06.	76
FIGURA 43 – FLUXOGRAMA DA SEQUÊNCIA DE PROCESSOS DO MODELO 1 – 110 - 06.	76
FIGURA 44 – FLUXOGRAMA DA MELHORIA DO MODELO 1 – 100 - 06.	79
FIGURA 45 – FLUXOGRAMA DA MELHORIA DO MODELO 1 – 110 - 06.	79
FIGURA 46 – RESULTADOS OBTIDOS NA MELHORIA DO MODELO DE SIMULAÇÃO (1-100-XX-01).	82
FIGURA 47 – RESULTADOS OBTIDOS NA MELHORIA DO PROCEDIMENTO DE PRIMEIRA PICAGEM.	84
FIGURA 48 – RESULTADOS OBTIDOS NA MELHORIA DO PROCEDIMENTO DE SEGUNDA PICAGEM.	84
FIGURA 49 – RESULTADOS OBTIDOS NA MELHORIA DO MODELO DE SIMULAÇÃO (1-110-XX-01).	85
FIGURA 50 – RESULTADOS DA MELHORIA DO PROCEDIMENTO DE PICAGEM DOS CANTOS.	87
FIGURA 51 – RESULTADOS DA MELHORIA DO PROCEDIMENTO DA PRIMEIRA PICAGEM.	88
FIGURA 52 – RESULTADOS DA MELHORIA DO PROCEDIMENTO DA SEGUNDA PICAGEM.	88
FIGURA 53 – MELHORIA DA QUANTIDADE DE HORAS DE OPERAÇÃO MENSAIS.	89
FIGURA 54 – MÉDIA DE LIMAS POR HORA E MÉDIA DE LIMAS MENSAIS.	90
FIGURA 55 – RETORNO MENSAL OBTIDO APÓS IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS PROPOSTAS.	91
FIGURA 56 – RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO DE SIMULAÇÃO E MELHORIA.	92
FIGURA 57 – QUANTIDADES DO PROCESSO ATUAL E QUANTIDADES APÓS MELHORIA.	93
FIGURA 58 – TAXA DE OCUPAÇÃO DA MÁQUINAS APÓS A MELHORIA.	94
FIGURA 59 – FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO INTERNO DO GAMS CPL.	97
FIGURA 60 – GAMS CPL - TEMPO INICIAL DO MODELO.	99
FIGURA 61 – INTERFACE GERAL DO GAMS CPL.	100
FIGURA 62 – GAMS CPL - BARRA DE FERRAMENTAS.	101
FIGURA 63 – GAMS CPL - BARRA DE FERRAMENTAS MENU <i>HELP</i> , OPÇÃO <i>AUTHOR</i> E OPÇÃO <i>ABOUT</i> .	101
FIGURA 64 – GAMS CPL - CONFIGURAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO.	102
FIGURA 65 – GAMS CPL - CONFIGURAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO DA LIMA 1-143-06-01.	103
FIGURA 66 – GAMS CPL – SELEÇÃO DO MODELO BASE.	103
FIGURA 67 – GAMS CPL - MODELO DE SIMULAÇÃO DA LIMA 1-143-06-01.	104
FIGURA 68 – GAMS CPL – ESTRATÉGIA DE CONTROLO, CAPACIDADE DAS MÁQUINAS.	104
FIGURA 69 – GAMS CPL - RESULTADO DO MODELO DE SIMULAÇÃO DA LIMA 1-143-06-01.	105
FIGURA 70 – GAMS CPL - ANÁLISE DE DESEMPENHO DO MODELO DA LIMA 1-143-06-01.	105
FIGURA 71 – GAMS CPL - INTERFACE ANIMADA DAS ESTRATÉGIAS DE CONTROLO.	106
FIGURA 72 – GAMS CPL - ESTRATÉGIAS DE CONTROLO.	107
FIGURA 73 – FLUXO DE INFORMAÇÃO REFERENTE À SELEÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE CONTROLO.	107
FIGURA 74 – ESTRATÉGIA DE CONTROLO 1: MELHORIA DO TEMPO ENTRE CHEGADAS.	108
FIGURA 75 – ESTRATÉGIA DE CONTROLO 2: CAPACIDADE DAS MÁQUINAS.	108
FIGURA 76 – ESTRATÉGIA DE CONTROLO 3: MELHORIA DO TEMPO DE ROTA.	109
FIGURA 77 – ESTRATÉGIA DE CONTROLO 3: MELHORIA DE ROTA / OPERAÇÃO MANUAL.	109
FIGURA 78 – ESTRATÉGIA DE CONTROLO 4: CAPACIDADE DAS MÁQUINAS.	110
FIGURA 79 – OPÇÃO DE CRIAR O MODELO OTIMIZADO.	110
FIGURA 80 – VALORES REFERENTES AOS PARÂMETROS DO MODELO 1- 143 - 06 - 01.	112
FIGURA 81 – RESULTADOS REFERENTES À 1ª ESTRATÉGIA DE CONTROLO.	113
FIGURA 82 – RESULTADOS REFERENTES À 2ª ESTRATÉGIA DE CONTROLO.	114

FIGURA 83 – RESULTADOS 3ª ESTRATÉGIA ( <i>ROUTE TIME</i> ).	115
FIGURA 84 – RESULTADOS 3ª ESTRATÉGIA ( <i>MANUAL TIME</i> ).	115
FIGURA 85 – RESULTADOS 3ª ESTRATÉGIA ( <i>ROUTE TIME + MANUAL TIME</i> ).	116
FIGURA 86 – RESULTADOS REFERENTES À 4ª ESTRATÉGIA DE CONTROLO.	116
FIGURA 87 – RESULTADOS REFERENTES À 1ª E 2ª ESTRATÉGIA DE CONTROLO.	117
FIGURA 88 – RESULTADOS REFERENTES À 1ª E 3ª ESTRATÉGIA DE CONTROLO.	118
FIGURA 89 – RESULTADOS REFERENTES À 1ª E 3ª ESTRATÉGIA DE CONTROLO.	119
FIGURA 90 – RESULTADOS REFERENTES À 1ª E 4ª ESTRATÉGIA DE CONTROLO.	120
FIGURA 91 – RESULTADOS REFERENTES À 2ª E 3ª ESTRATÉGIA DE CONTROLO.	121
FIGURA 92 – COMPARAÇÃO DA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO ATRAVÉS DA 1ª E 3ª ESTRATÉGIA.	122
FIGURA 93 – EXEMPLOS DE FERRAMENTAS MANUAIS FABRICADAS [A – SNA2].	141
FIGURA 94 – FERRAMENTAS MANUAIS FABRICADAS PELA SNA EM PORTUGAL [A – SNA2].	142
FIGURA 95 – EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA LIMA COMO FERRAMENTA [A – SNA2].	142
FIGURA 96 – CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO [A – SNA2].	143
FIGURA 97 – TIPOS E FORMAS MAIS COMUNS DAS LIMAS [A – SNA2].	143
FIGURA 98 – COMPRIMENTO DA LIMA COMO REFERENCIA [A – SNA2].	144
FIGURA 99 – TIPO DE DENTE E CORTE DA LIMA (PICAGEM) [A – SNA2].	144
FIGURA 100 – MEDIDA UTILIZADA PARA IDENTIFICAR O GRAU DE GROSSURA DA LIMA [A – SNA2].	145
FIGURA 101 – MODELOS DE LIMAS DE ENGENHARIA [A – SNA3].	146
FIGURA 102 – MODELOS DE LIMAS DE CALADO [A – SNA4].	146
FIGURA 103 – MODELOS DE LIMAS PARA AFIAR [A – SNA5].	147
FIGURA 104 – MODELOS DE LIMAS PARA CHAPEIRO [A – SNA6].	147
FIGURA 105 – MODELOS DE LIMAS PARA DESBASTE DE MADEIRA [A – SNA7].	148
FIGURA 106 – MODELOS DE LIMAS PARA AFIAR CORRENTES [A – SNA8].	148
FIGURA 107 – TESTE DE DUAS CAUDAS (BILATERAL).	150
FIGURA 108 – MODELOS DE LIMAS DE ENGENHARIA 1-143-XX-01 [A – SNA1].	151





## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE MODELOS DE SIMULAÇÃO NO SECTOR DA PRODUÇÃO.	43
TABELA 2 – NÚMERO DE MEDIÇÕES A REALIZAR DURANTE O ESTUDO DE MELHORIA [WEBS].	59
TABELA 3 – IDENTIFICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE CADA ENTIDADE DO MODELO 1-143-06.	64
TABELA 4 – IDENTIFICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE CADA ENTIDADE DO MODELO 4-138-06.	64
TABELA 5 – QUANTIDADE DE UNIDADES PRODUZIDAS MODELO 1-143-XX-01 E MODELO 4-138-XX-01.	66
TABELA 6 – SEQUÊNCIA DE PROCEDIMENTOS RESULTANTE DA MELHORIA DO MODELO 1-143-06.	68
TABELA 7 – SEQUÊNCIA DE PROCEDIMENTOS RESULTANTE DA MELHORIA DO MODELO 4-138-06.	68
TABELA 8 – SEQUÊNCIA DOS PROCEDIMENTOS RESULTANTES DA MELHORIA MODELO 1-143-XX-01.	69
TABELA 9 – MELHORIA DOS MODELOS SIMULAÇÃO, MODELO 1-143-XX-01.	69
TABELA 10 – MELHORIA DO CICLO DE OPERAÇÃO DO MODELO 1-143-XX-01.	70
TABELA 11 – TAXA DE OCUPAÇÃO (%) DO PROCESSO ATUAL DO MODELO 1-143-XX-01.	71
TABELA 12 – TAXA DE OCUPAÇÃO (%) DO PROCESSO APÓS MELHORIA DO MODELO 1-143-XX-01.	71
TABELA 13 – PROCEDIMENTOS DO PROCESSO RESULTANTES DA MELHORIA DO MODELO 4-138-XX-01.	73
TABELA 14 – MELHORIA DOS MODELOS SIMULAÇÃO, MODELO 4-138-XX-01.	73
TABELA 15 – MELHORIA DO CICLO DE OPERAÇÃO, MODELO 4-138-XX-01.	74
TABELA 16 – TAXA DE OCUPAÇÃO (%) DO PROCESSO ATUAL MODELO 4-138-XX-01.	74
TABELA 17 – TAXA DE OCUPAÇÃO (%) DO PROCESSO OTIMIZADO DO MODELO 4-138-XX-01.	75
TABELA 18 – IDENTIFICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE CADA ENTIDADE DO MODELO 1-100-06.	77
TABELA 19 – IDENTIFICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE CADA ENTIDADE DO MODELO 1-110-06.	77
TABELA 20 – QUANTIDADE DE UNIDADES PRODUZIDAS 1-100-XX-01.	78
TABELA 21 – SEQUÊNCIA DE PROCEDIMENTOS RESULTANTE DA MELHORIA DO MODELO 1-100-06.	80
TABELA 22 – SEQUÊNCIA DE PROCEDIMENTOS RESULTANTE DA MELHORIA DO MODELO 1-110-06.	80
TABELA 23 – SEQUÊNCIA DOS PROCEDIMENTOS OTIMIZADOS DO MODELO 1-100-XX-01.	81
TABELA 24 – MELHORIA DOS MODELOS SIMULAÇÃO, MODELO 1-100-XX-01.	81
TABELA 25 – MELHORIA DO CICLO DE OPERAÇÃO, MODELO 1-100-XX-01.	82
TABELA 26 – TAXA DE OCUPAÇÃO (%) DO PROCESSO ATUAL MODELO 1-100-XX-01.	83
TABELA 27 – TAXA DE OCUPAÇÃO (%) DO PROCESSO OTIMIZADO DO MODELO 1-100-XX-01.	83
TABELA 28 – SEQUÊNCIA DOS PROCEDIMENTOS OTIMIZADOS DO MODELO 1-110-XX-01.	85
TABELA 29 – MELHORIA DOS MODELOS SIMULAÇÃO, MODELO 1-110-XX-01.	85
TABELA 30 – MELHORIA DO CICLO DE OPERAÇÃO, MODELO 1-110-XX-01.	86
TABELA 31 – TAXA DE OCUPAÇÃO (%) DO PROCESSO ATUAL MODELO 1-110-XX-01.	86
TABELA 32 – TAXA DE OCUPAÇÃO (%) DO PROCESSO OTIMIZADO DO MODELO 1-110-XX-01.	87
TABELA 33 – QUANTIDADE DE HORAS DE OPERAÇÃO DURANTE UM MÉS DE PRODUÇÃO.	89
TABELA 34 – QUANTIDADE DE UNIDADES PRODUZIDAS NO PROCESSO ATUAL E OTIMIZADO.	90
TABELA 35 – ANÁLISE ECONÓMICA – INVESTIMENTO E AMORTIZAÇÃO DO INVESTIMENTO.	91
TABELA 36 – RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MELHORIA DO CICLO DE OPERAÇÃO.	92
TABELA 37 – MÓDULOS DA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO GAMS CPL.	98
TABELA 38 – QUANTIDADE DE UNIDADES NO PROCESSO REAL E NO GAMS CPL.	111
TABELA 39 – QUANTIDADE DE UNIDADES NO PROCESSO REAL E NO GAMS CPL.	111

TABELA 40 – CORRELAÇÃO ENTRE AS ESTRATÉGIAS DE CONTROLO.	112
TABELA 41 – RESULTADO DO MODELO DE SIMULAÇÃO.	112
TABELA 42 – RESULTADOS RELATIVOS À IMPLEMENTAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE CONTROLO.	123
TABELA 43 – RESULTADOS RELATIVOS À AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO.	127
TABELA 44 – RESULTADOS DO ESTUDO DE AVALIAÇÃO DO IMPACTO ECONÓMICO.	127
TABELA 45 – RESULTADOS REFERENTES ÀS CRONOMETRAGENS (S).	149
TABELA 46 – AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NA CRONOMETRAGEM.	150
TABELA 47 – RESULTADOS DAS ESTRATÉGIAS DE CONTROLO DO MODELO DE 1-143-06-01.	151

# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	29
1.1	Enquadramento do Trabalho .....	29
1.2	Objetivos do Trabalho .....	29
1.3	Metodologia de Investigação .....	30
1.4	Apresentação da Empresa SNA Europe [Industries] .....	31
1.5	Conteúdo e Organização do Relatório .....	34
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	37
2.1	Introdução .....	37
2.2	Conceitos de Simulação .....	38
2.3	Vantagens e desvantagens da utilização da simulação .....	39
2.4	Aplicações da Simulação no Sector da Produção .....	40
2.5	Fases de um Projeto de Simulação .....	41
2.6	Geração Automática de Modelos de Simulação no Sector da Produção .....	43
3	ANÁLISE DE FERRAMENTAS DE MELHORIA E PROCESSO DE FABRICO DE LIMAS NA SNA EUROPE .....	47
3.1	Filosofia Utilizada no Processo de Fabrico de Limas na SNA Europe .....	47
3.2	Mapeamento do Fluxo de Valor .....	49
3.3	Processo de Fabrico das Limas .....	49
3.3.1	Processo de Corte/ <i>Blanking Process</i> .....	50
3.3.2	Processo de Retificação .....	51
3.3.3	Processo de Picagem .....	52
3.3.4	Processo de Têmpera .....	54
3.3.5	Processo de Limpeza .....	55
3.3.6	Processo de Embalamento .....	55

4	ANÁLISE E MELHORIA DO PROCESSO DE PICAGEM ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO.....	59
4.1	Introdução .....	59
4.2	Análise do Processo de Picagem .....	60
4.3	Análise do Processo Atual de Picagem Simples Através da Simulação .....	62
4.3.1	Desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão do Processo Atual de Picagem Simples Através da Simulação .....	65
4.3.2	Validação do Sistema de Apoio à Decisão do Processo Atual de Picagem Simples .....	66
4.4	Melhoria do Processo de Picagem Simples Através da Simulação .....	66
4.4.1	Desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão na Melhoria do Processo de Picagem Simples Através da Simulação .....	69
4.4.2	Análise de Resultados do Sistema de Apoio à decisão na Melhoria do Processo de picagem Simples 69	
4.4.2.1	Limas Produzidas – Modelo 1-143-xx-01 .....	69
4.4.2.2	Ciclo Operacional – Modelo 1-143-xx-01 .....	70
4.4.2.3	Taxa de Ocupação – Modelo 1-143-xx-01 .....	71
4.4.2.4	Limas Produzidas – Modelo 4-138-xx-01 .....	73
4.4.2.5	Ciclo Operacional – Modelo 4-138-xx-01 .....	74
4.4.2.6	Taxa de Ocupação – Modelo 4-138-xx-01 .....	74
4.5	Análise do Processo Atual de Picagem Dupla Através da Simulação .....	76
4.5.1	Desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão do Processo Atual de Picagem Dupla Através da Simulação .....	78
4.5.2	Validação do Sistema de Apoio à Decisão do Processo Atual de Picagem Dupla .....	78
4.6	Melhoria do Processo de Picagem Dupla Através da Simulação .....	79
4.6.1	Desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão na Melhoria do Processo de Picagem Dupla Através da Simulação .....	81
4.6.2	Análise de Resultados do Sistema de Apoio à Decisão na Melhoria do Processo de Picagem Dupla 81	
4.6.2.1	Limas Produzidas – Modelo 1-100-xx-01 .....	81
4.6.2.2	Ciclo Operacional – Modelo 1-100-xx-01 .....	82
4.6.2.3	Taxa de Ocupação – Modelo 1-100-xx-01 .....	83
4.6.2.4	Limas Produzidas – Modelo 1-110-xx-01 .....	84
4.6.2.5	Ciclo Operacional – Modelo 1-110-xx-01 .....	85
4.6.2.6	Taxa de Ocupação – Modelo 1-110-xx-01 .....	86
4.7	Avaliação do Impacto Económico na Melhoria das Células de Picagem .....	89
4.8	Avaliação de Desempenho das Células de Picagem .....	92

<b>5</b>	<b>GERADOR AUTOMÁTICO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DE CÉLULAS DE PICAGEM DE LIMAS .....</b>	<b>97</b>
5.1	Introdução .....	97
5.2	Desenvolvimento do GAMS CPL .....	97
5.3	Sistema Proposto de Interface Gráfica com o Utilizador .....	99
5.3.1	Módulo 1 – Definição do Tempo Inicial do Modelo .....	99
5.3.2	Módulo Principal do GAMS CPL.....	100
5.3.3	Módulo 2 – Definição da Barra de Ferramentas .....	101
5.3.4	Módulo 3 - Configuração do Modelo de Simulação .....	102
5.3.5	Módulo 4 - Seleção do Modelo Base .....	103
5.3.6	Módulo 5 – Estratégias de Controlo .....	106
5.3.6.1	Estratégia 1 - Melhoria do Tempo Entre Chegadas .....	108
5.3.6.2	Estratégia 2 - Melhoria do Tempo de Processamento das Máquinas.....	108
5.3.6.3	Estratégia 3 - Melhoria do tempo de Processamento do Operador, Tempo de Rota e Tempo do Procedimento Manual .....	109
5.3.6.4	Estratégia 4 - Melhoria da capacidade da célula de produção .....	110
5.4	Validação dos Modelos Resultantes do GAMS CPL.....	111
5.5	Análise de Resultados Através da utilização das Estratégias de Controlo.....	112
5.5.1	Estratégia 1 - Tempo Entre Chegadas. ....	113
5.5.2	Estratégia 2 - Tempo de Processamento das Máquinas. ....	114
5.5.3	Estratégia 3 - Tempo de Processamento do Operador.....	114
5.5.4	Estratégia 4 - Capacidade das máquinas.....	116
5.5.5	Estratégia 1; 2 - Tempo entre chegadas; Tempo de Processamento das Máquinas. ....	117
5.5.6	Estratégia 1;3 - Tempo entre chegadas; Tempo de Processamento do Operador. ....	118
5.5.7	Estratégia 1;4 - Tempo entre chegadas; Capacidade das máquinas. ....	120
5.5.8	Estratégia 2;3 - Tempo de Processamento das Máquinas; Tempo de Processamento do Operador. ....	121
5.5.9	Estratégia 3;4 - Tempo de Processamento do Operador; Capacidade das máquinas. ....	121
5.6	Avaliação de Desempenho das Estratégias de Controlo .....	122
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO.....</b>	<b>127</b>
6.1	Introdução .....	127
6.2	Principais contributos do Trabalho .....	127
6.3	Carácter Inovador do Trabalho .....	128
6.4	Trabalho Futuro .....	129

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	133
ANEXOS .....	141
Anexo A – Características Técnicas do Produto.....	141
Anexo A.1 - Enquadramento da Lima na Gama de Produtos Fabricados na SNA Europe.....	141
Anexo A.1.1 - Produtos Fabricados.....	141
Anexo A.2 - Características Técnicas das Limas .....	142
Anexo A.2.1 - Lima como Ferramenta .....	142
Anexo A.2.2 - Classificação das Limas Fabricadas pela SNA .....	143
Anexo A.2.3 - Tipo e Forma das Limas .....	143
Anexo A.2.4 - Comprimento das Limas .....	144
Anexo A.2.5 - Tipo de Dente e Corte .....	144
Anexo A.3 - Categorias das Limas .....	145
Anexo A.3.1 - Limas de Engenharia .....	145
Anexo A.3.2 - Limas de Calado .....	146
Anexo A.3.3 - Limas para Afiar .....	147
Anexo A.3.4 - Limas para chapeiro .....	147
Anexo A.3.5 - Limas Grossa (Rasp) .....	148
Anexo A.3.6 - Limas para corrente de motosserra .....	148
Anexo B – Validação dos Resultados Referentes à Cronometragem .....	149
Anexo C - Tabela de valores Referentes à Estratégia de Controlo (GAMS CPL) .....	151
Anexo D – Bibliografia e Outras Fontes de Informação .....	152

# 1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do Trabalho

1.2 Objetivos do Trabalho

1.3 Metodologia de Investigação

1.4 Apresentação da Empresa SNA Europe [Industries]

1.5 Conteúdo e Organização do Relatório





# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento do Trabalho

Com a finalidade de aumentar os lucros e a sustentabilidade das empresas, a redução de custos e desperdício fazem parte do objetivo de qualquer empresa que se pretenda manter competitiva. De um modo geral, as indústrias recorrem a métodos como “*Lean Manufacturing*” e “*Six Sigma*” para manter e melhorar a eficiência destes processos. Nas últimas décadas têm sido desenvolvidos esforços no sentido de utilizar simulação computacional com a mesma finalidade. A simulação é uma ferramenta de apoio à decisão que permite modelar e analisar o desempenho de sistemas e processos complexos, com um nível de pormenorização que se considere mais ajustado a cada caso [Ferreira 2003; Ferreira *et al.* 2012a]. O comportamento de um sistema evolui ao longo do tempo e é estudado com o recurso ao desenvolvimento de um modelo de simulação. A simulação é utilizada para estudar sistemas na fase de projeto, antes que esses sistemas sejam construídos. Assim, a simulação pode ser usada como uma ferramenta de análise para prever o efeito de mudanças em sistemas existentes e como uma ferramenta de projeto para prever o desempenho de novos sistemas sob os mais variados conjuntos de circunstâncias [Banks *et al.* 2004].

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do curso de Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto e foi realizado em contexto industrial na empresa SNA Europe [Industries], LDA, empresa do grupo Americano Snap-on (USA), localizada em Vila do Conde (Junqueira). O trabalho foi desenvolvido no departamento de Produção, o qual se destina à atividade metalomecânica, mais concretamente do fabrico de quatro tipos de produtos: limas de engenharia, limas de motosserra, arcos e serras.

## 1.2 Objetivos do Trabalho

O principal objetivo do presente trabalho passa pela melhoria do processo de picagem simples e dupla dos modelos de lima chata, da empresa SNA Europe. Deste modo, a realização deste trabalho tem como suporte os seguintes objetivos:

- Conhecer as características técnicas da lima como ferramenta, assim como o seu processo produtivo;
- Revisão bibliográfica sobre as etapas de um projeto de simulação e a utilização da simulação como uma ferramenta de apoio à decisão;
- Análise e Melhoria do processo de picagem simples e picagem dupla através da simulação, com o intuito de avaliar a possibilidade de alterar a configuração do processo, designadamente através da introdução de processos automatizados, em detrimento do processo manual atual;

- Avaliar o impacto económico do investimento em possíveis melhorias nas células de produção;
- Avaliação do desempenho das células de picagem, através dos resultados obtidos no estudo de simulação;
- Desenvolvimento de um gerador automático de modelos de simulação, que permita avaliar o impacto que a implementação de estratégias alternativas de controlo irão ter na produção.

### 1.3 Metodologia de Investigação

A metodologia de investigação aqui utilizada foi desenvolvida no âmbito do estágio que decorreu no período compreendido entre Novembro de 2016 e Março de 2017 e desenvolveu-se ao longo de cinco fases:

- Fase I – Identificação das características técnicas dos modelos de limas de Engenharia. Foi efetuado um levantamento das características técnicas de vários modelos de limas. A recolha de informação teve por base a consulta de manuais internos, catálogos e base de dados da empresa SNA Europe.
- Fase II – Revisão bibliográfica sobre as etapas de um projeto de simulação e a utilização da simulação como uma ferramenta de apoio à decisão.
- Fase III – Mapeamento de processos de produção. Nesta fase foi desenvolvido o mapeamento de processos, através de fluxogramas, com o intuito de perceber o seu funcionamento e identificar pontos críticos, visando a melhoria dos processos em estudo.
- Fase VI – Análise e melhoria do processo de picagem simples e picagem dupla através da simulação. Nesta fase, é estudado o sistema de produção atual da empresa e, posteriormente, são propostas soluções de melhoria do processo de picagem simples e picagem dupla de limas chatas.
- Fase V – Desenvolvimento de um gerador automático de modelos de simulação. Nesta fase será desenvolvida uma ferramenta de simulação, que permita a geração automática de modelos com diferentes estratégias de controlo, para auxiliar a tomada de decisão relativa à gestão das células de picagem de limas.

## 1.4 Apresentação da Empresa SNA Europe [Industries]

A SNA Europe dedica-se aos seus clientes e parceiros, desde que as suas primeiras ferramentas manuais foram fabricadas na Suécia, em 1850, como indica o seguinte cronograma da figura 1.



Figura 1 – Cronograma da história da SNA Europe [SNA1].

O grupo SNA surgiu como o fruto do crescimento e desenvolvimento da empresa-mãe sueca, C. O. Oberg & Co., que em 1850 iniciou a sua atividade em Eskilstuna, na Suécia, dedicando-se ao fabrico de limas. Em 1970 foi criada uma companhia subsidiária em Portugal (Vila do Conde), com o nome de Oberg Limas e Mecânica, Lda. No ano de 1991 dá-se início à ampliação das instalações portuguesas, sendo estas inauguradas em 1992. Durante este ano, a direção "Serras e Ferramentas" do grupo Sandvik decide encerrar a fábrica de Ekilstuna, na Suécia e transfere a fabricação para Portugal. Em 2005 a Snap-On integra a SNA Europe (ver figura 2), e a Bahco Oberg Ferramentas S.A. incorpora a produção de serras e serrotes de arco para madeira. É no ano de 2006 que a empresa muda novamente para o seu nome atual, passando a sua designação social para SNA Europe [Industries] S.A. [SNA2, SNA3].



Figura 2 – SNA Europe [Industries] LDA, situada em vila do Conde Portugal [SNA4].

Com um número de aproximadamente 250 colaboradores, na área de produção, a SNA Europe funciona em dois turnos durante a semana, não havendo produção ao fim de semana, com a exceção de algum caso em especial. A empresa SNA possui um volume de negócios com uma tendência crescente (ver figura 3), segundo a última faturação registada, de mais de 30 milhões de euros.

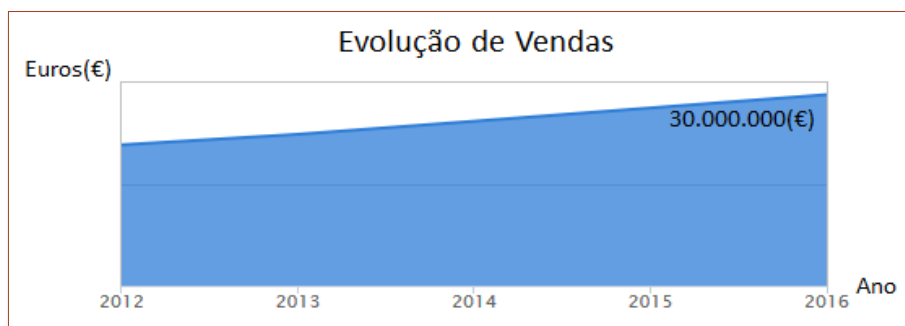


Figura 3 – SNA Europe [Industries] evolução de vendas entre 2012 e 2016 [SNA6].

A empresa SNA Europe enquadra-se na atividade metalomecânica e tem os seus sistemas de gestão de qualidade, ambiente, higiene e segurança certificados. Dedica-se, atualmente, ao fabrico de quatro tipos de produtos: serras, arcos, limas de engenharia e limas de motosserra (ver figura 4). A sua produção está assente em um sistema de produção *Lean*, desde o ano de 2003.



Figura 4 – SNA Europe [Industries] Produtos Fabricados.

A empresa dedica-se também à fabricação e comercialização de ferramentas manuais, tais como tesouras de poda (e diverso material), carros de ferramenta, chaves de caixa, chaves de bocas, chaves de luneta, chaves dinamométricas, chaves de impacto, alicates, chaves de parafusos, serrotes, etc. Possui uma unidade de vendas que comercializa as marcas BAHCO, IRIMO, IRAZOLA, LINDSTROM, entre outras [SNA1; SNA5]. A empresa pertencente ao grupo SNAP-ON (USA) possui escritórios de vendas, locais de fabricação e centros de distribuição (ver figura 5) que se encontram localizados em vários países.



Figura 5 – Localizações da SNA Europe [Industries] LDA, pelo mundo [SNA1].

Os produtos da SNA Europe (ver figura 6) são concebidos para diversos mercados [SNA5]:

- Industrial - Fabrico e montagem, reparação e revisão geral de manutenção, recursos naturais, serviços públicos, ferroviários, navios e aeroespacial.
- Construção - Profissionais de arquitetura e construção, comerciantes em geral, eletricitas, canalizadores e empreiteiros especializados e exigente uso privado.
- Automóvel - Manutenção e reparação de automóveis, motocicletas, barcos pequenos, camiões e veículos pesados.
- Mercado de poda - Cultivo da terra, vinicultura, paisagismo, pomologia e floricultura.



Figura 6 – Mercados de atuação dos vários produtos fabricados na SNA Europe [SNA5].



## 1.5 Conteúdo e Organização do Relatório

O presente relatório de estágio encontra-se estruturado em seis capítulos. Para além deste primeiro capítulo, de considerações gerais, são apresentados mais cinco capítulos, tratando cada um deles de assuntos bem definidos.

No primeiro capítulo é realizado o enquadramento temático, definidos os objetivos a atingir, descrita a metodologia de investigação adotada, é delineada a sua estrutura e por último é realizada a apresentação da empresa.

No segundo capítulo, intitulado *Revisão Bibliográfica*, é apresentada toda a informação necessária à fundamentação do trabalho desenvolvido.

No terceiro capítulo, denominado por *Análise do Processo de Fabrico de Limas na SNA Europe*, é apresentada a metodologia utilizada no processo de fabrico, é realizado o mapeamento da cadeia de valor e por último é estudado o processo de fabrico.

No quarto capítulo, designado por *Análise e Melhoria do Processo de Picagem Através da Simulação*, é abordada a componente prática do projeto, onde são expostos os processos desenvolvidos na atividade de produção, com a respetiva descrição de todas as etapas realizadas na execução dos procedimentos. Posteriormente, é efetuado o estudo de melhoria dos processos referidos anteriormente e é realizada a análise do impacto económico no investimento em possíveis melhorias nas células de produção, sendo ainda apresentada uma síntese dos resultados obtidos no estudo de simulação.

No quinto capítulo, intitulado *Gerador Automático de Modelos de Simulação de Células de Picagem*, é descrito o sistema proposto, em termos da sua estrutura e interface gráfica e são apresentadas as quatro estratégias de controlo, utilizadas no sistema de apoio à decisão.

No sexto capítulo, designado por *Conclusões e Trabalho Futuro*, tecem-se as considerações finais relativas ao projeto desenvolvido em ambiente de estágio na empresa SNA Europe e é analisado o carácter inovador do trabalho, sendo propostos exemplos de trabalhos futuros.

Finalmente, é citada toda a *Bibliografia* de apoio utilizada neste relatório e em *Anexo* encontra-se toda a informação adicional necessária, tal como as características técnicas do produto em análise. É realizada uma breve apresentação dos produtos fabricados pela empresa, seguida de uma descrição mais pormenorizada sobre as características técnicas das limas e as tabelas necessárias à análise das estratégias provenientes da ferramenta GAMS CPL.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

2.2 Conceitos de Simulação

2.3 Vantagens e desvantagens da utilização da simulação

2.4 Aplicações da Simulação no Sector da Produção

2.5 Fases de um Projeto de Simulação

2.6 Geração Automática de Modelos de Simulação no Sector da  
Produção





## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Introdução

A indústria de transformação é definida como sendo a transformação de materiais e informações em bens para satisfação de necessidades humanas. Na atualidade, o ambiente altamente competitivo da indústria de transformação enfrenta constantes desafios de produzir produtos inovadores em prazos curtos. A tendência crescente para a globalização e a descentralização da fabricação requer a troca de informações em tempo real entre as várias etapas do ciclo de vida do desenvolvimento de um produto (ver figura 7). Os processos de desenvolvimento de produtos estão a tornar-se cada vez mais complexos e intrincados, de modo a satisfazer as necessidades dos consumidores. O desenvolvimento de modelos e análise da simulação são conduzidos de forma a obter informações sobre esse tipo de sistemas complexos e desta forma responder às exigências da produção moderna [Mourtzis *et al.* 2014].

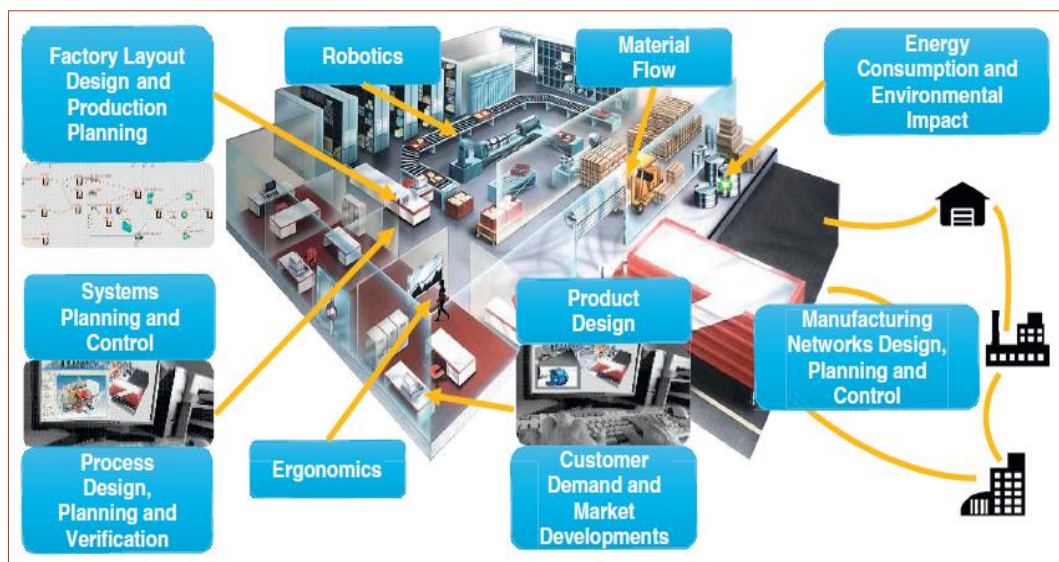


Figura 7 – Domínios investigados da fabricação contemporânea [Mourtzis *et al.* 2014].

A simulação é uma abordagem amplamente utilizada para auxiliar o projeto e a melhoria dos sistemas de produção. A simulação tornou-se um método eficaz, devido à sua versatilidade na modelação de operações complexas e dinâmicas, podendo ser implementada no estudo de melhoria do *design* e desempenho de células de produção. Uma célula de produção é um conjunto de máquinas ou processos em proximidade uns dos outros, dedicado à fabricação de produtos que compartilham requisitos de fabricação semelhantes [Chen *et al.* 2000].

## 2.2 Conceitos de Simulação

São várias as definições para o conceito de simulação, dependendo do domínio em estudo. Alguns autores classificam a simulação como sendo a aplicação de algumas metodologias matemáticas, colocadas em prática em computadores, as quais possibilitam reproduzir uma panóplia de operações ou procedimentos do mundo real (ver figura 8), ou seja, é uma ferramenta de apoio à decisão que permite projetar e analisar o desempenho de sistemas e de processos, por vezes complexos. Desta forma, de seguida serão exemplificadas algumas destas diferentes aplicações.

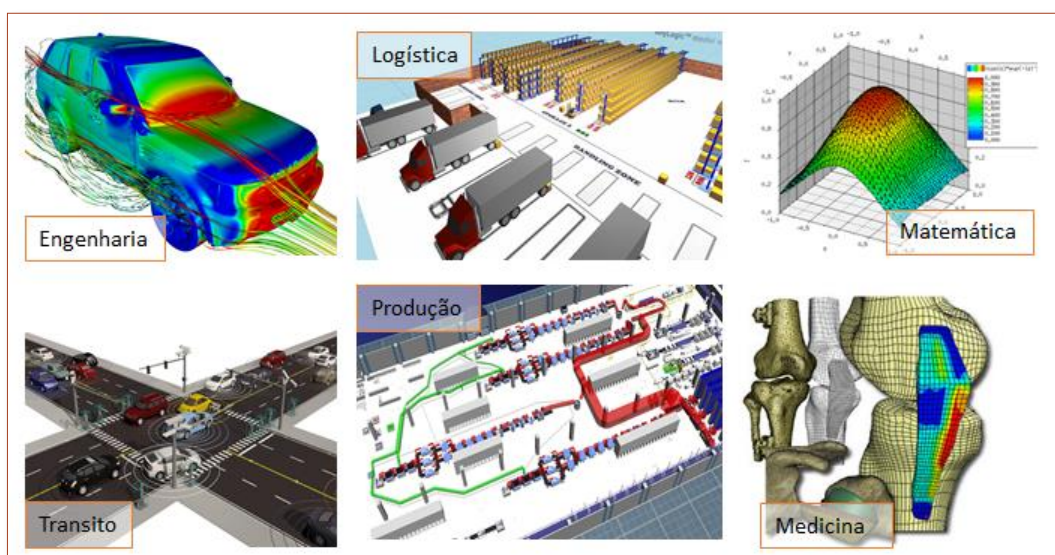


Figura 8 – Exemplos de várias aplicações da Simulação [web1].

A simulação constitui uma técnica que permite a transferência da realidade para o computador, através da construção de um modelo que reflete com precisão o comportamento de um processo (processo existente ou processo em fase de projeto) [Ferreira *et al.* 2011; Enrique *et al.* 2012]. De acordo com Pedgen *et al.* [2010] a simulação é um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experiências com este modelo, com o propósito de entender o seu comportamento e/ou avaliar estratégias para a sua operação. A simulação computacional possibilita que sejam realizados estudos sobre sistemas que ainda não existem, levando ao desenvolvimento de projetos eficientes, antes que qualquer mudança física tenha sido iniciada [Silva *et al.* 2007]. A simulação pode ser vista como o processo de construção de um modelo representando um sistema real, bem como a realização de várias simulações usando o mesmo modelo, com o objetivo de compreender melhor o seu comportamento e avaliar o impacto de estratégias operacionais alternativas [Ferreira *et al.* 2011]. A simulação computacional é uma ferramenta de apoio à decisão que permite tomar decisões relativamente ao número ótimo de máquinas, postos de trabalho, matéria-prima, trabalhadores e capacidade de produção [Azadeh *et al.* 2010]. A complexidade dos sistemas de produção justifica o uso de técnicas de simulação na deteção de problemas críticos durante a conceção ou

redesenho de novos sistemas, ou no diagnóstico de sistemas existentes para melhorar o seu desempenho. Um projeto de simulação desenvolvido com sucesso é aquele que produz informações úteis, dentro de um período de tempo adequado, para apoiar a tomada de decisões [Ferreira *et al.* 2013].

### 2.3 Vantagens e desvantagens da utilização da simulação

Embora a simulação seja um excelente instrumento de diagnóstico, é necessário ter conhecimento das suas vantagens e desvantagens. São diversas as vantagens inerentes ao uso da simulação que podemos encontrar na literatura da especialidade, de entre as quais se destacam [Ferreira *et al.* 2011; Tannock *et al.* 2007]:

- Permite aos engenheiros de produção testar novas configurações no processo de produção, sem a necessidade de comprometer recursos, cujos custos seriam elevados.
- A simulação pode ser utilizada, para explorar novas estratégias de gestão de recursos, procedimentos operacionais, estratégias de tomada de decisão, estruturas de organização e fluxo de informações, sem ter que interromper o normal funcionamento do sistema.
- A simulação permite identificar os pontos de bloqueio/gargalos (*bottlenecks*) na linha de produção, bem como testar as várias opções com o objetivo de otimizar o seu desempenho.
- A simulação permite estudar um sistema com um amplo intervalo de tempo num período de tempo compacto ou, alternativamente, permite fazer um estudo detalhado sobre o desempenho do sistema durante um período de tempo prolongado.
- A simulação permite aos utilizadores testarem o comportamento do sistema, quando confrontados com situações novas e inesperadas, bem como constituir um suporte para a tomada de decisões no que diz respeito ao investimento em novas tecnologias e equipamentos, melhorando a capacidade de produção e gestão de recursos materiais e humanos.

Apesar de todos os benefícios obtidos através do uso da simulação como ferramenta de suporte no processo de tomada de decisão, também apresenta algumas desvantagens relevantes, as mais significativas são [Ferreira *et al.* 2011; Tannock *et al.* 2007]:

- A simulação não fornece soluções ótimas para problemas de estudo de casos, no entanto, permite avaliar o comportamento do sistema de acordo com cenários específicos, que são criados pelo analista para os fins pretendidos.
- Se o modelo não constitui uma representação válida do sistema em estudo, os resultados da simulação não produzirão muita informação útil sobre o sistema real.

## 2.4 Aplicações da Simulação no Sector da Produção

Na literatura da especialidade é possível encontrar diversos trabalhos, nos quais a simulação foi utilizada no setor da produção (ver figura 9) como ferramenta de apoio à decisão.

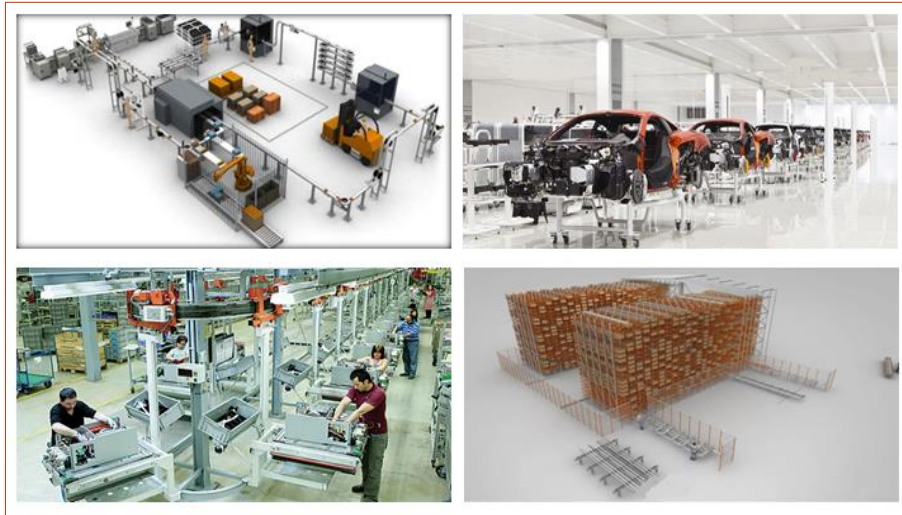


Figura 9 – Exemplos de áreas de aplicação de ferramentas de Simulação [web2].

As empresas de produção industrial operam em um mercado muito competitivo, seja local ou global. Manter o desempenho do sistema de produção o mais alto possível é um fator chave na obtenção de uma vantagem competitiva contra a concorrência e garantindo a sobrevivência da empresa a longo prazo. Os sistemas de produção geralmente têm gargalos (*bottlenecks*) que comprometem o seu desempenho. O sistema de simulação SCORE (Remoção de restrição baseada em simulação) é um método promissor para detetar e classificar os gargalos dos sistemas de produção, que utiliza melhoria multi-objetivo baseada em simulação [Bernedixen *et al.* 2015].

A simulação pode ser utilizada na resolução de problemas de afetação de trabalhos e armazenagem temporária de produtos (*buffers*), no funcionamento do fluxo de trabalho das linhas de fabrico. Uma alocação adequada de recursos e espaço pode melhorar significativamente o desempenho do sistema e reduzir o custo de investimento [Zhang *et al.* 2016]. A indústria automóvel, é uma indústria altamente competitiva, onde a simulação desempenha um papel importante, desde o *design*, desenvolvimento, fabricação e preço dos veículos a motor. A simulação pode ser implementada em várias situações na linha de montagem de veículos, por exemplo, como uma ferramenta para prever o desempenho do sistema de fabricação ou comparar diferentes cenários. Neste caso, o estudo de simulação de linhas de montagem de eixos e molas. A simulação tem sido amplamente utilizada e aplicada na criação de modelos de sistemas de fabrico, em parte devido à sua capacidade de analisar sistemas complexos automatizados e captar o efeito de alterações locais no desempenho do sistema geral [Ki- Hwan *et al.* 2015]. Devido ao crescente consumo de produtos, existe por parte das indústrias uma necessidade recorrente de otimizar o *design* dos armazéns para fins de programação de

produção, gestão de inventário e minimização de custos. As questões de utilização de armazém geralmente surgem em casos de grande variabilidade de inventário e ambientes incertos. Para lidar com essas condições de incerteza, vários tipos de projetos e estratégias de armazenagem são empregues para atender às necessidades da empresa. Em particular, os armazéns são projetados com o objetivo de utilizar da melhor forma o espaço de armazenamento disponível, permitindo o armazenamento e recuperação eficiente de itens. Deste modo, a simulação será utilizada, para avaliar configurações alternativas dos armazéns e a capacidade no armazenamento em lote [Kelsey *et al.* 2016].

## 2.5 Fases de um Projeto de Simulação

Na literatura da especialidade, é possível encontrar diversas propostas sobre quantas e quais as etapas de um projeto de simulação. De forma a realizar com êxito um projeto de simulação, este deve compreender as etapas da figura 10 [Banks *et al.* 2004].

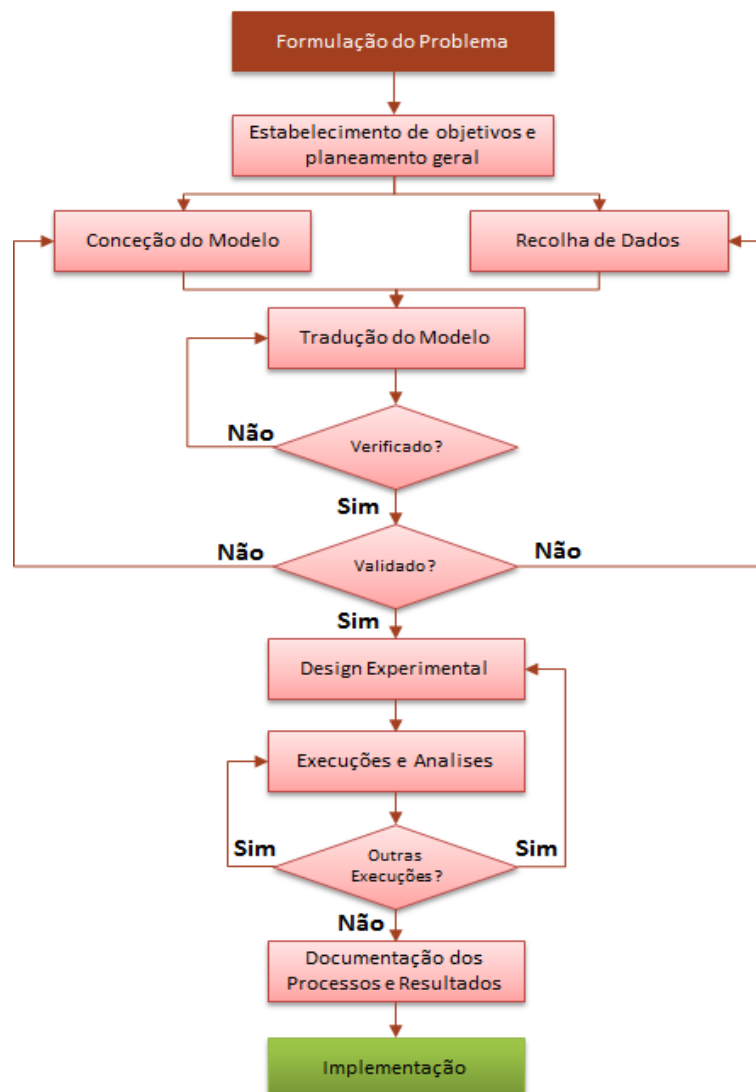


Figura 10 – Etapas de um Estudo de Simulação [Banks *et al.* 2004].



Seguidamente, é apresentada uma explicação mais detalhada de cada uma das etapas presentes na figura 10 [Banks *et al.* 2004; Freitas 2008 e Montevechi *et al.* 2007]:

- **Formulação do problema.** Procede-se com a descrição do problema, caracterizando a situação atual.
- **Estabelecimento de objetivos e planeamento geral.** São definidas as questões a estudar, assim como os recursos necessários ao projeto.
- **Conceção do Modelo.** Deve ser desenvolvido com base nas características principais do problema. No início, o modelo deve ser simples, aumentando o nível de detalhe à medida que o modelo evolui, não excedendo a complexidade necessária para atingir o propósito do modelo.
- **A recolha de dados.** Recolher dados necessários. A quantidade de variáveis aumenta de acordo com a complexidade do modelo e o tamanho da amostra, de acordo com a precisão desejada.
- **Tradução do Modelo.** Devido à necessidade de geração e armazenamento de um grande volume de informação, é necessário traduzir o modelo para programação computacional, reduzindo o tempo de desenvolvimento e processamento
- **Verificação e Validação.** Confirmar que o modelo trabalha de acordo com a intenção do analista (sem erros de sintaxe e lógica) e que os resultados por ele fornecidos sejam válidos e representativos dos resultados do modelo real.
- **Design Experimental.** Dependendo dos resultados das simulações previamente realizadas, podem ser consideradas alternativas ao sistema real.
- **Execuções e análises.** As simulações devem ser realizadas e analisadas com o propósito de avaliar o desempenho das alternativas propostas.
- **Documentação dos processos e resultados.** O registo dos resultados obtidos no estudo de simulação é de grande importância, de modo a que seja possível alterar o sistema e seus parâmetros no futuro, como para aumentar a credibilidade do projeto. Em relação aos resultados, a sua análise deve ser clara e objetiva, contendo toda a informação relevante ao sistema.
- **Implementação.** O êxito da implementação do modelo de simulação depende diretamente da correta implementação das etapas anteriores. Se não houver um conhecimento suficiente sobre o funcionamento lógico do modelo, a sua implementação está comprometida.

## 2.6 Geração Automática de Modelos de Simulação no Sector da Produção

Na literatura da especialidade, é possível encontrar diversos trabalhos na área da produção (ver tabela1), em que foi desenvolvido um gerador automático de modelos de simulação, com o objetivo de apoiar a decisão através do desenvolvimento de uma ferramenta informática flexível, interativa e parametrizável, que permita a construção automática de modelos de simulação.

Tabela 1 – Geração Automática de Modelos de Simulação no Sector da Produção.

Referencias Bibliográficas	Descrição do Trabalho
[Bergmann <i>et al.</i> 2016]	Neste trabalho, a simulação é uma ferramenta utilizada na área da produção e logística, de forma a avaliar e monitorizar processos. É aplicada para garantir a viabilidade dos conceitos de planeamento, descobrir possibilidades de racionalização e auxiliar na tomada de decisões. Considerando o ciclo de vida dos sistemas de produção e logística, a simulação é tradicionalmente aplicada na fase de planeamento e na fase de operação.
[Kirchhof <i>et al.</i> 2016]	Neste trabalho, foi utilizada a simulação de modo a otimizar o armazenamento de produtos. As abordagens clássicas de decisões de planeamento na alocação de armazenamento geralmente são conduzidas inteiramente com um esforço manual significativo. Ao combinar otimização e simulação em uma ferramenta de planeamento, uma infinidade de cenários de alocação de armazenamento podem ser gerados e analisados, para melhorar as abordagens de planeamento tradicionais. Deste modo, é diminuída a distância de viagem dos operadores e assim obtém-se um aumento de produtividade.
[Krenczyk <i>et al.</i> 2016]	Neste trabalho, foi desenvolvido um sistema de apoio à decisão que permite o uso da simulação e visualização de forma a verificar planos de produção e topologias alternativas de configurações de rede de fabricação, bem como com geração automática de uma série de cenários de fluxo de produção. A modelação por computador, simulação e visualização do fluxo de produção, permitem aumentar a eficiência do processo de planeamento de produção em redes de produção dinâmicas.
[Myung <i>et al.</i> 2016]	Neste trabalho, a simulação é utilizada no apoio ao planeamento da produção e à tomada de decisões, na gestão do ciclo de vida de um produto na indústria de construção naval. A simulação tem sido utilizada para dar suporte à produção, configuração de planos com alta precisão e prevenção de problemas iminentes relacionados com a produção.



---

[Ferreira 2012b]	Neste trabalho, foi desenvolvido um sistema de apoio à decisão através da geração automática e interativa de diferentes modelos de simulação, visando uma classe muito específica de linhas de produção, com uma configuração em rede de quatro <i>loops</i> fechados, muito comum no sector automóvel. No modelo de simulação desenvolvido, é possível analisar o fenómeno de bloqueamento e de falta de alimentação das máquinas em uma linha de produção complexa; nestes modelos têm-se em consideração uma variável externa (x), que representa a proporção de carroçarias de quatro portas existentes entre as estações de desmontagem e de montagem de portas nas carroçarias.
[Mueller et al. 2007]	Neste trabalho, a geração automática de modelos de simulação é utilizada, para analisar um domínio muito específico, como o caso da fabricação de semicondutores. A aplicabilidade desta abordagem é demonstrada pela geração de um modelo de simulação baseado no conjunto de dados da Sematech (consórcio sem fins lucrativos que realiza pesquisa e desenvolvimento para promover a fabricação de <i>chips</i> ).
[Paiva 2005].	Neste trabalho, a geração automática de modelos de simulação de uma Linha de Produção na Indústria Têxtil, tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão (SAD), baseado na simulação, para servir como ferramenta de suporte ao estudo do impacto de diferentes estratégias de implementação da estrutura produtiva.
[Ferreira 2003] [Ferreira et al. 2003] [Ferreira et al. 2005]	Neste trabalho, a geração automática de modelos de simulação de uma Linha de Produção na Indústria Eletrónica pretende, com o recurso à simulação em ambiente ARENA, desenvolver uma ferramenta de simulação que permitisse a geração automática de modelos, com diferentes estratégias de controlo para a redefinição de fluxos de processamento de materiais, ao longo das linhas HIDRO da <i>Blaupunkt</i> .
[Young et al. 2001]	Neste trabalho, foi desenvolvido um sistema de apoio à decisão através de modelos de simulação muito detalhados, o qual é utilizado no controlo em tempo real do chão de fábrica. O código de simulação gerado pode ser usado para análise do sistema tradicional, mas, mais importante, também pode ser usado para controlar o sistema de fabrico.

---

### **3. ANÁLISE DE FERRAMENTAS DE MELHORIA E PROCESSO DE FABRICO DE LIMAS NA SNA EUROPE**

- 3.1 Filosofia Utilizada no Processo de Fabrico de Limas na SNA Europe
- 3.2 Mapeamento do Fluxo de Valor
- 3.3 Processo de Fabrico das Limas



### 3 Análise de Ferramentas de Melhoria e Processo de Fabrico de Limas na SNA Europe

De forma a garantir uma posição competitiva, a SNA Europe emprega ferramentas que permitem maximizar os recursos e minimizar o desperdício, mantendo a qualidade dos seus produtos. Como tal, de seguida serão abordadas algumas destas ferramentas, assim como a análise dos processos de fabrico de limas chatas de picagem simples e picagem dupla.

#### 3.1 Filosofia Utilizada no Processo de Fabrico de Limas na SNA Europe

Na empresa SNA Europe é utilizada uma filosofia *Lean Thinking* na fabricação dos seus produtos. Esta filosofia consiste na complementaridade de várias ferramentas e pensamentos que passam pela especificação de valor, pelo alinhamento da melhor sequência das ações que criam valor (fluxo de valor), pela realização dessas ações sem interrupção (fluxos contínuos e produção puxada) quando solicitadas. Para tal, todos os membros da cadeia devem ter conhecimento do processo como um todo, procurando continuamente as melhores formas de criar valor [Werkema 2006]. Realça-se que os esforços de melhoria contínua são os meios para atingir altos níveis de produção puxada, através da eliminação da variabilidade do sistema e, assim, reduzir os defeitos dentro do mesmo [Shaman *et al.* 2013]. Para tal, é utilizado o *one piece flow* o qual é uma técnica simples, mas extremamente útil, em que um produto vai sofrendo alterações ao longo do seu processo produtivo (ver figura 11), recebendo uma única alteração em cada visita a cada estação. O *one piece flow* traduz-se no conceito da metodologia *Lean*, em que as várias tarefas de produção ou atividades transitórias do processo produtivo são realizadas uma de cada vez, e de forma independente entre si. Isto constitui uma mudança significativa relativamente ao modelo de *Batch Thinking*, que se caracteriza por criar um largo número de produtos ou tarefas, com várias etapas ao mesmo tempo ou na mesma fase do processo [Sherif *et al.* 2013].

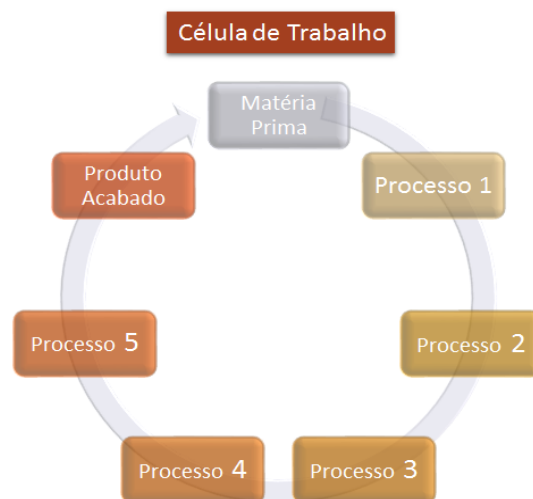


Figura 11 – Sequencia de processos segundo o conceito *one piece flow*.

Associado ao processo one piece flow, é utilizado o *combination sheet* (ver figura 12) e o *standard work* (ver figura 13), o qual pode ser entendido como a forma mais eficiente de executar uma tarefa. Normalizar significa uniformizar procedimentos, seguindo a mesma sequência, as mesmas operações e as mesmas ferramentas. A uniformização de processos é um dos aspetos mais importantes na filosofia *Lean Thinking*, dado que ajuda a eliminar os desvios. As vantagens que mais se destacam são o aumento da previsibilidade dos processos e, conseqüente, reação e correções necessárias, redução de desvios e menores custos. Processos uniformizados podem, deste modo, contribuir para a melhoria contínua. Neste domínio, a uniformização e a formalização (colocar por escrito e de forma visual) são contributos fundamentais para o sucesso do *Lean Thinking* [Gomes 2007]. A uniformização de processos passa pela documentação (ver figura 12 e figura 13) das diferentes etapas, garantindo que qualquer colaborador segue o mesmo procedimento, utilizando do mesmo modo as mesmas ferramentas e sabendo como proceder quando confrontados com diversas situações [Pinto 2008]. Desta forma, segundo [Shaman *et al.* 2013], o *standart work* possui três elementos básicos:

- Tempo de ciclo: definido como o tempo necessário para que cada etapa da produção seja concluída.
- Sequência de produção: a ordem, identificada como a melhor, pela qual se devem efetuar as diversas operações que conduzem à realização de uma tarefa.
- Nível WIP (*work in process*): quantidade máxima de *stock* que flui através das diversas operações, quando o processo está a decorrer sem variabilidade.

[illegible]

Figura 12 – Exemplo do *combination sheet* [Adaptado da SNA Europe].

**Standard Work Sheet**

(1 sheet per cell)

Quality Check

Standard WIP ( )

Safety / Risk Caution

Takt Time: 55 segundos

Figura 13 – Exemplos do *standard work* [Adaptado da SNA Europe].

### 3.2 Mapeamento do Fluxo de Valor

O mapeamento do fluxo de valor representa uma ferramenta gráfica que ajuda no esclarecimento e análise do fluxo de processo. Por forma a compreender o processo de produção de limas chatas, devemos identificar quais os processos que, realizados sequencialmente, contribuem para o fabrico do produto final. Para tal, será realizada em primeiro lugar uma análise VSM (*value stream mapping*), na qual será mapeado o processo de fabrico atual. O VSM, ou mapeamento do fluxo de valor, permite visualizar o percurso (ou mapa) de um produto ou serviço. Este é um método simples e eficaz que numa fase inicial ajuda a gestão, a engenharia e as operações a reconhecer atividades com e sem valor, contribuindo para a redução do tempo de espera, movimentação e outros desperdícios similares, identificando as suas causas [Shaman et al. 2013; Pinto 2008]. Na figura 14 pode-se visualizar o VSM do processo de fabrico das limas chatas de picagem simples e picagem dupla, sobre as quais será realizado o estudo.

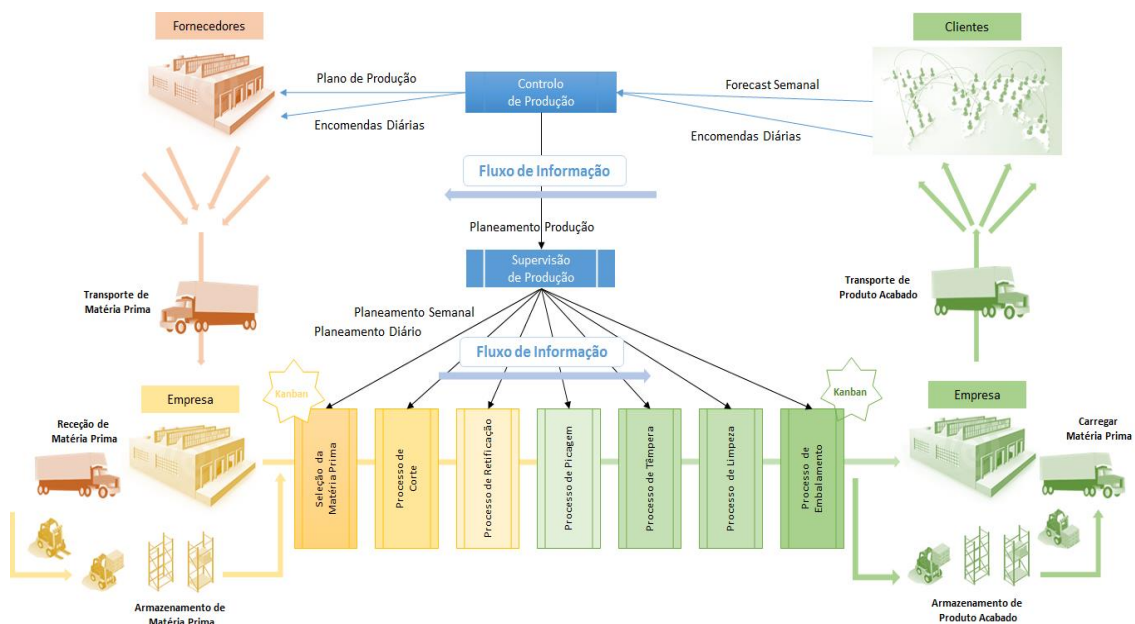


Figura 14 – Mapeamento do processo de fabrico de limas chatas na SNA Europe.

### 3.3 Processo de Fabrico das Limas

O fabrico das limas na SNA Europe engloba uma série de processos, que devem ser realizados de forma sequencial e cuidada, por forma a manter os níveis de qualidade exigidos pela empresa e, por conseguinte o consumidor final. Os processos realizados dependem do tipo de lima que será fabricada, isto é, tipos de limas diferentes necessitam de processos diferentes. Na generalidade, os processos existentes são: Corte, Forjamento, Tratamento Térmico (Recozimento), Retificação, Picagem, Têmpera; Limpeza; Embalamento. Embora os processos descritos anteriormente sejam utilizados pela empresa no fabrico dos vários modelos de limas, só serão abordados os processos necessários à produção de limas chatas com picagem simples e picagem dupla.

Deste modo, Inicia-se a abordagem a este processo começando por descrever a metodologia utilizada pela empresa SNA Europe. A figura 15 identifica todos os processos necessários para o fabrico da respetiva lima, assim como o seu fluxo ou sequência. O processo de picagem encontra-se realçado a verde, pois de entre os vários processos intrínsecos ao fabrico da lima de engenharia, o estudo irá incidir sobre este último.

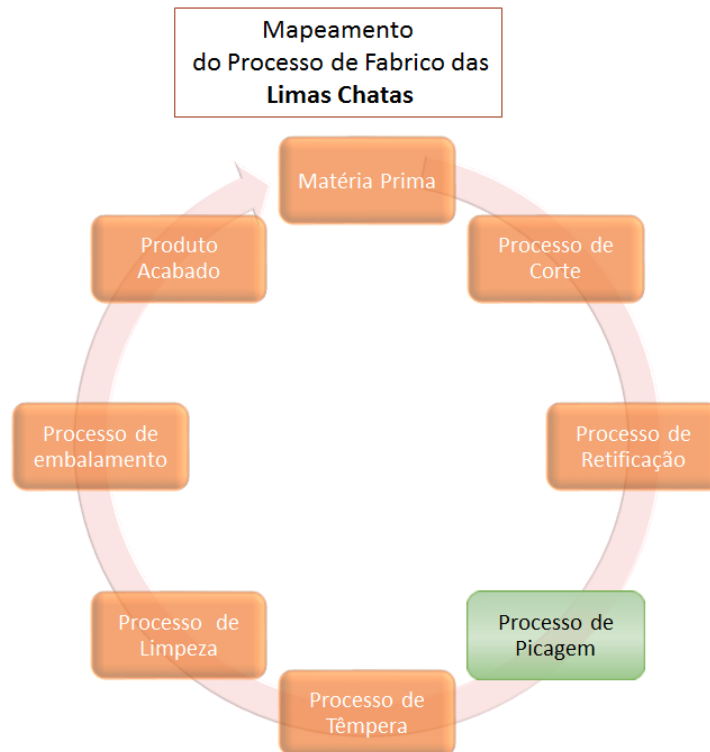


Figura 15 – Sequencia de Fabrico das Limas chatas produzidas pela SNA.

### 3.3.1 Processo de Corte/ *Blanking Process*

No fabrico das limas, é utilizado como matéria-prima aço, o qual é fornecido em formato de bobine (características intrínsecas do material e dimensões pré definidas) ao cliente (ver figura 16).



Figura 16 – Bobine de material utilizado na alimentação automática da prensa [web3].

Para o modelo de lima a fabricar, existe respetivo cunho/cortante e bobine, os quais são previamente preparados. O processo de fabrico é um processo de corte, denominado

na respetiva área de atuação por, corte do esboço (*blanking process*), o qual utiliza uma prensa mecânica (ver figura 17) com alimentação automática.



Figura 17 – Prensa mecânica com sistema de alimentação progressivo [web4].

O sistema de prensas de conformação progressiva permite a produção de peças de forma continua. Este tipo de processo é especificamente destinado a peças de pequena e média dimensão, proporcionando uma produção estável e de confiança. Este sistema é constituído por uma prensa e um sistema de alimentação (sistema de guia e sistema de desenrolar). Após a colocação da bobine e do molde, é realizada finalmente a calibração da prensa para o modelo de lima a fabricar.

### 3.3.2 Processo de Retificação

O processo de retificação (ver figura 18) é um processo de maquinagem onde a remoção de apara do material é estabelecida pelo contato entre a peça e uma ferramenta abrasiva (rebolo), que gira a alta rotação, enquanto que a peça tem uma velocidade menor.

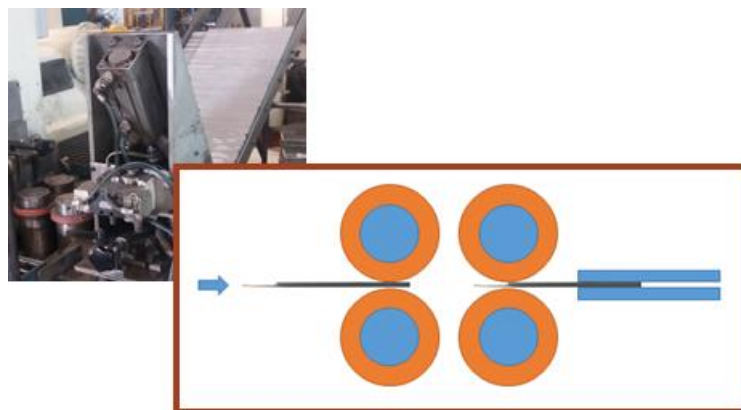


Figura 18 – Representação do processo de retificação [Adaptado da SNA Europe].



O processo de retificação é utilizado por forma a conferir maior precisão geométrica e dimensional (ver figura 19), assim como remover óxidos presentes na superfície e conferir rugosidade, a qual será importante durante o processo de arrasto na picagem. Durante este processo, pode ocorrer alguma descarbonização superficial devido ao aquecimento recorrente do processo. No entanto, este efeito pode ser minimizado utilizando emulsões arrefecedoras. Após a preparação e calibração do equipamento, este funciona de forma automática, ficando a cargo do operador o reabastecimento manual de limas no início da operação. Este local é composto por uma estrutura, a qual permite encadear múltiplas limas e abastecer de forma seriada a máquina de retificação (retificadora).



Figura 19 – Exemplo da lima na fase inicial e fase final do processo de retificação.

### 3.3.3 Processo de Picagem

O trabalho apresentado neste relatório de estágio irá incidir principalmente no processo denominado por Picagem (processo de conformação plástica), focando as limas planas de picagem simples e picagem dupla (ver figura 20).



Figura 20 – Exemplo de picagem simples e picagem dupla.

O processo de picagem é responsável pela conformação dos “dentes” da lima. Entende-se como conformação dos metais a modificação de um corpo metálico para outra forma definida. Neste caso, os processos de conformação podem ser definidos como sendo um processo mecânico, no qual as modificações da forma do produto são provocadas pela aplicação de pressões externas. Estes processos mecânicos assentam nos processos de conformação plástica, nos quais as tensões aplicadas estão normalmente compreendidas entre a tensão de cedência e a tensão de rutura do material, e pelos processos de conformação por maquinagem para os quais as tensões aplicadas são

sempre superiores à tensão de rutura do material a cortar, existindo deste modo remoção de material. No caso em estudo, a conformação dos dentes da lima será realizada por um processo de conformação plástica [Button *et al.* 2011]. Uma célula é um grupo de processos concebido para produzir uma família de produtos de uma forma flexível. O movimento de materiais segue a lógica de peça a peça. Nas células utilizam-se pequenos lotes, os quais são transferidos entre células. Os operadores alocados às células dominam múltiplos conhecimentos e podem transitar entre células, tornando esta uma estratégia de fabrico flexível e polivalente. Esta flexibilidade permite a adaptação da oferta à variação da procura, bastando para tal ajustar o número de operadores ao nível de produção exigida de acordo com a filosofia TPS/JIT (*toyota production system/just in time*). A capacidade de ajustar o tempo de ciclo da célula à procura dá origem a um dos conceitos mais importantes do sistema JIT, o conceito de *Takt Time* (é o tempo disponível para produzir, dividido pela procura de mercado) [Pinto 2008]. Relativamente ao processo de picagem na empresa SNA Europe, este é constituído por várias células correspondentes aos diferentes comprimentos de limas e ao tipo de picagem, a qual pode ser simples ou dupla (características técnicas, consultar anexo A). As células de produção são constituídas por diferentes equipamentos e são concebidas para produzir uma família de produtos de forma flexível, podendo ser operadas por um número variável de operadores. O operador realiza a movimentação da lima ao longo da célula, colocando-a de forma manual na máquina.

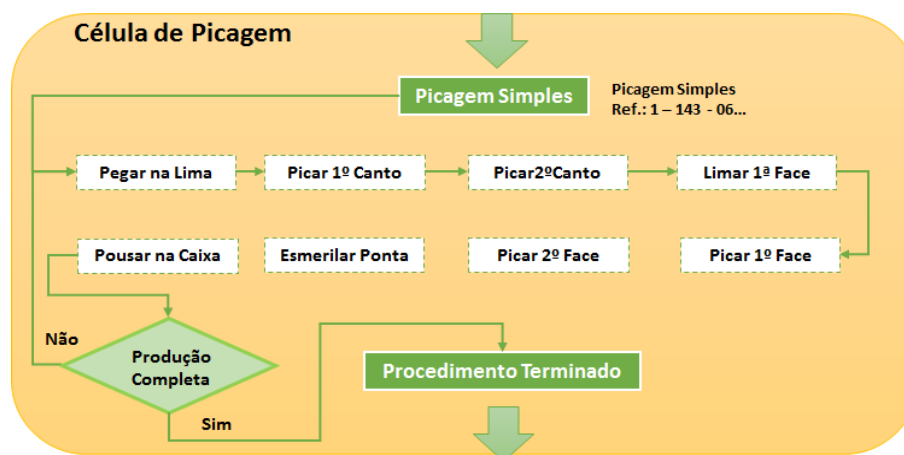


Figura 21 – Etapas do processo de picagem simples do modelo 1-143-6.

O processo de picagem (ver figura 22) é de extrema importância, pois são os “dentes” da lima que conferem a capacidade de remoção de material. Sem estes, a lima seria um simples pedaço de aço liso. Esta etapa do processo pode ser descrito pela movimentação rápida e alternada do cinzel/punção. De acordo com o Kanban do produto, o operador deve ajustar os parâmetros do equipamento de picagem. Esta operação requer a colocação do cinzel/punção respetivo ao modelo a fabricar, pois existem várias medidas disponíveis. O material do cinzel/punção (Carboneto de Tungsténio – metal duro) possui propriedades de elevada dureza, para que este penetre na superfície de aço da lima, formando os dentes da lima pelo processo mecânico de conformação plástica. Nesta etapa do processo, o aço deve estar no estado macio (anterior à tempera), de modo que

a picagem se processe de forma correta, sem provocar empenos nas limas. De modo a facilitar esta etapa, é aplicado um óleo lubrificante na superfície das limas. Por isso, é importante a rugosidade decorrente do processo de retificação permitindo fixar o óleo à superfície da lima.



Figura 22 – Representação do processo de picagem [Adaptado da SNA Europe].

### 3.3.4 Processo de Têmpera

O processo de têmpera tem como objetivo conferir às limas a dureza pretendida (na ordem dos 63 HRC.), ou seja, é efetuado um tratamento térmico ao aço devido à necessidade de melhorar as propriedades mecânicas e, desta forma, aumentar a dureza e a resistência ao desgaste.



Figura 23 – Representação do processo de têmpera [Adaptado da SNA Europe].

O processo consiste essencialmente em duas fases, o aquecimento até à temperatura de austenitização e arrefecimento em água ou óleo. No processo de têmpera por indução, o aquecimento é realizado por um indutor (ver figura 23) através do qual é gerado um campo magnético que induz na(s) peça(s) uma corrente elétrica. A corrente elétrica, ao percorrer a superfície da(s) peça(s), provoca o aquecimento pretendido. A segunda etapa da têmpera é o arrefecimento, o qual deve ser brusco, em óleo ou água. A rapidez do arrefecimento é importante para impedir que o aço mude de fase, por ficando com uma estrutura martensítica. O arrefecimento em óleo é o método de arrefecimento geralmente utilizado [Torsten *et al.* 2012].

### 3.3.5 Processo de Limpeza

O processo de limpeza tem como objetivo remover a película de óxido de ferro que se forma no processo de têmpera e em possíveis processos anteriores. A limpeza é realizada utilizando uma solução de ácido sulfúrico a 10% e com projeção de esfera de vidro. A projeção das esferas de vidro destina-se a remover vestígios remanescentes do ácido sulfúrico na superfície, proporcionando uma superfície livre de qualquer contaminante. Finalmente, é aplicado um óleo anticorrosivo, de modo a proteger as limas da humidade atmosférica e impedir a formação de óxidos durante o tempo de armazenamento e durante o transporte.

### 3.3.6 Processo de Embalamento

O processo de embalamento é um processo realizado manualmente, o qual possui uma área específica (ver figura 24) onde já foi aplicada a metodologia *Lean*. Este processo tem como objetivo armazenar os produtos temporariamente e serve principalmente para agrupar unidades de um produto, com o objetivo de criar melhores condições para a distribuição, transporte e armazenagem e identificação da lima através de gravação por laser. A embalagem tem ainda como função proteger o conteúdo, informar sobre as condições de manipulação, exibir os requisitos legais como composição, ingredientes, etc. e promoção do produto através de gráficos.



Figura 24 – Representação do processo de embalamento [Adaptado da SNA Europe].



## 4. ANÁLISE E MELHORIA DO PROCESSO DE PICAGEM ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO

4.1 Introdução

4.2 Análise do Processo de Picagem

4.3 Análise do Processo Atual de Picagem Simples Através da Simulação

4.4 Melhoria do Processo de Picagem Simples Através da Simulação

4.5 Análise do Processo Atual de Picagem Dupla Através da Simulação

4.6 Melhoria do Processo de Picagem Dupla Através da Simulação

4.7 Avaliação do Impacto Económico na Melhoria das Células de Picagem

4.8 Avaliação de Desempenho das Células de Picagem



## 4 Análise e Melhoria do Processo de Picagem Através da Simulação

### 4.1 Introdução

Este capítulo tem como objetivo principal a Análise e Melhoria do Processo de Picagem de Limas da Empresa SNA Europe, mais concretamente a picagem simples e picagem dupla de limas chatas. Pretende-se usar a simulação através do *software* *Arena Simulation*, como ferramenta de apoio à decisão, com o objetivo de testar novas configurações do processo produtivo, com o intuito de avaliar a possibilidade da sua alteração, designadamente através da introdução de processos automatizados, em detrimento do processo manual atual. Devido à possível implementação de melhorias, será realizada uma avaliação do impacto económico do investimento em novos equipamentos, assim como uma avaliação do desempenho das células de picagem através dos resultados obtidos no estudo de simulação. É importante salientar que todo o estudo é realizado sem ser necessário interromper o normal funcionamento do sistema, cujos custos seriam elevados. A recolha de dados foi realizada através de observação presencial do processo e utilizando a cronometragem. O estudo dos métodos e dos tempos é fundamental na compreensão das operações e análise crítica dos processos e procedimentos de uma linha de produção. O estudo dos métodos baseia-se na análise visual, que contribui para o conhecimento geral da realidade da linha produtiva e entrevistas informais a colaboradores, que fornecem pormenores essenciais para a compreensão do modo de funcionamento de cada sector [Gomes 2007; Sherif *et al.* 2013]. Para a realização de um estudo de tempos, é necessária a utilização de equipamento base (ver figura 25).

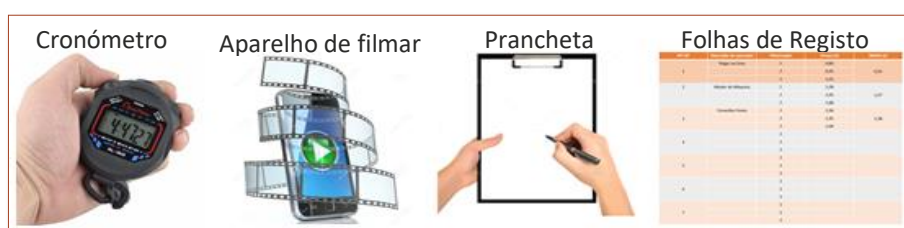


Figura 25 – Exemplos de equipamento utilizado num estudo de tempos.

O número de medições a realizar foi selecionado em função da duração do ciclo de trabalho a realizar. Segundo a tabela 2, foram registadas cerca de 30 medições para cada um dos procedimentos relativos à produção dos modelos de lima a analisar. O tempo de ciclo considerado foi de um minuto. De acordo com o estudo estatístico (ver anexo B) confirma-se a dimensão da amostra utilizada na medição dos procedimentos.

Tabela 2 – Número de medições a realizar durante o estudo de melhoria [web5].

Tempo de Ciclo (min)	0,1	0,25	0,5	0,75	1	2	5	10	20	40	>40
Número de Medições	200	100	60	40	30	20	15	10	8	5	3



## 4.2 Análise do Processo de Picagem

No capítulo 3, já foram descritos os vários processos que englobam o processo de fabrico geral das limas chatas. Como indicado no tema deste trabalho, o processo a abordar será o processo de picagem. O estudo de análise e melhoria do processo de picagem advém do interesse demonstrado pela empresa SNA Europe em identificar possíveis melhorias no processo de picagem simples e picagem dupla de limas chatas. Como se pode visualizar na figura 26, o abastecimento e recolha das limas é realizado por um operador que conduz um comboio logístico. Deste modo, os operadores de cada uma das células realizam a movimentação da lima ao longo dos vários procedimentos, colocando-a de forma manual nos equipamentos que executam o processo de forma automática, libertando o operador para realizar o procedimento seguinte. A informação técnica relativa às limas que serão foco do estudo podem ser consultados no anexo A, assim como a informação relativa às restantes categorias de limas produzidas pela SNA Europe.

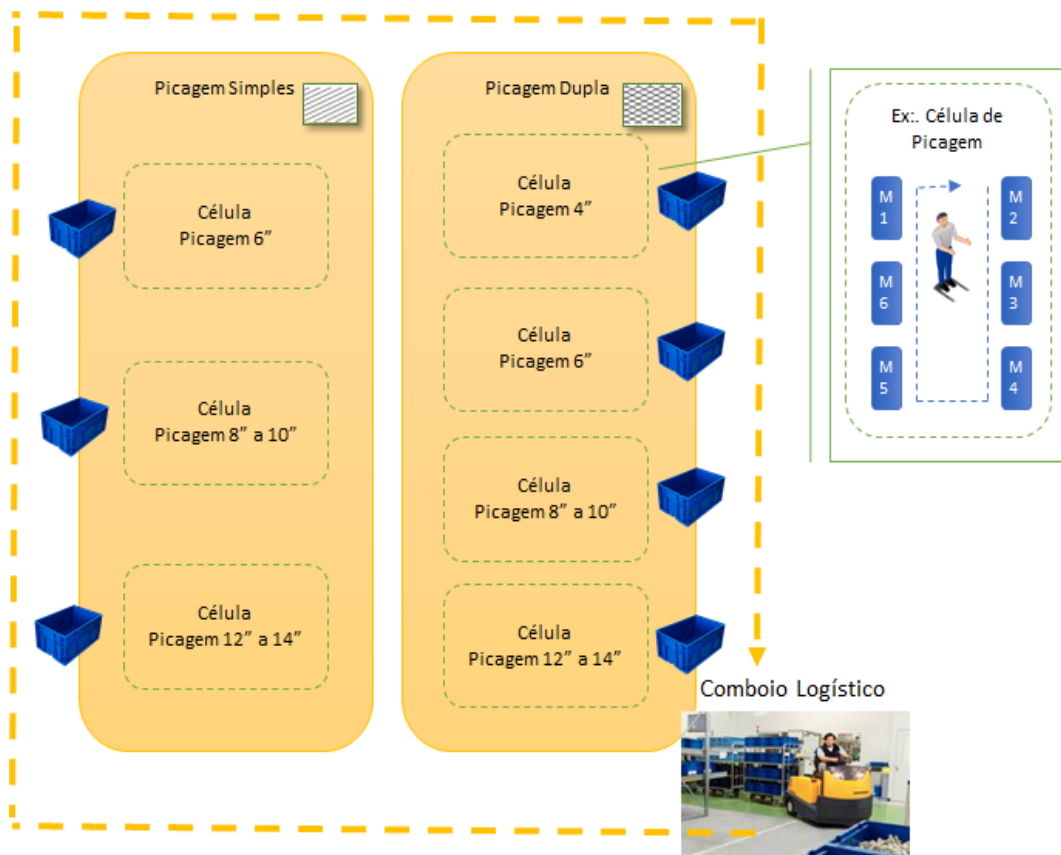


Figura 26 – Layout do processo de picagem de limas chatas simples e duplas.

Subsequentemente, foram observados e analisados presencialmente quatro modelos de limas (ver figura 27), sobre os quais se procedeu à recolha da respetiva informação (procedimentos e tempos).

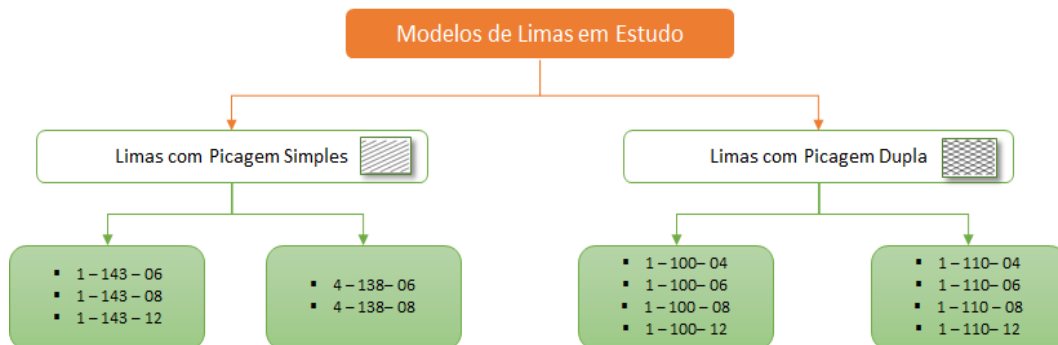


Figura 27 – Modelos de Limas em estudo.

Devido à existência de diferentes modelos a produzir, constatou-se que o processo pode variar em conformidade com o tempo necessário à realização das seguintes operações:

- O tempo de percorrer o caminho entre máquinas (Tempo de rota).
- O tempo de posicionamento e preparação da lima na máquina pelo operador (Tempo de procedimento manual).

O tempo do processo automático realizado pela máquina (tempo de processamento automático) varia de modelo para modelo. Este tempo está gravado no programa correspondente ao modelo a fabricar. Resumindo, de acordo com a informação anterior, de entre as dimensões constantes nos modelos de picagem simples e picagem dupla, foram selecionados quatro modelos, os quais serão o foco do estudo de simulação que será realizado seguidamente. Por forma a não recriar cenários de simulação, somente serão apresentados os cenários correspondentes aos modelos de limas de 6" de comprimento (ver figura 28).

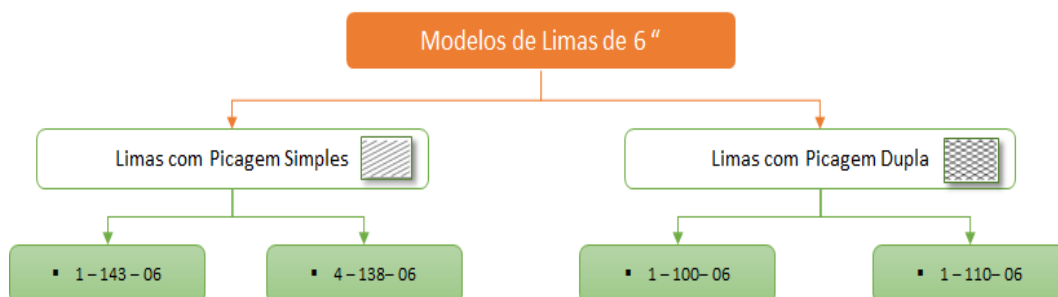


Figura 28 – Modelos de limas de 6".

### 4.3 Análise do Processo Atual de Picagem Simples Através da Simulação

O seguinte estudo foi dividido em seis fases, de modo a alcançar os objetivos traçados inicialmente.

- Fase I – Conhecer os processos produtivos. Foram desenvolvidos organogramas dos processos produtivos, onde se explica ao pormenor os procedimentos realizados no processo de picagem.
- Fase II – Recolha de dados. De acordo com os resultados anteriores, foi desenvolvida uma tabela com toda a informação relevante aos procedimentos realizados no processo de picagem.
- Fase III – Elaboração de modelos de simulação. De acordo com os resultados anteriores, foram desenvolvidos os modelos de simulação de cada modelo de lima em estudo.
- Fase IV – Validação de Resultados. Os resultados obtidos resultam da comparação do processo atual da empresa com os modelos de simulação.
- Fase V – Elaboração da melhoria do processo atual de picagem simples. Os modelos de simulação otimizados resultam do agrupamento de determinados procedimentos a realizar, através da introdução da nova máquina de picagem com rotação automática.
- Fase VI – Análise de resultados. Os resultados obtidos resultam da comparação do processo atual da empresa com o teste de cenários otimizados, resultantes dos modelos de simulação desenvolvidos.

Seguidamente, de acordo com os dados recolhidos, será elaborado o estudo do processo atual de picagem simples e serão criados os modelos de simulação correspondentes. Posteriormente será, realizado um estudo de melhoria do respetivo processo. O estudo que se segue é constituído pelos modelos de picagem simples.

As figuras 29 e 30 ilustram o fluxograma da sequência de processos necessários ao fabrico do modelo 1-143-06-01 e 4-138-06-01, respetivamente, mais concretamente, a sequência de procedimentos necessários ao processo de picagem.

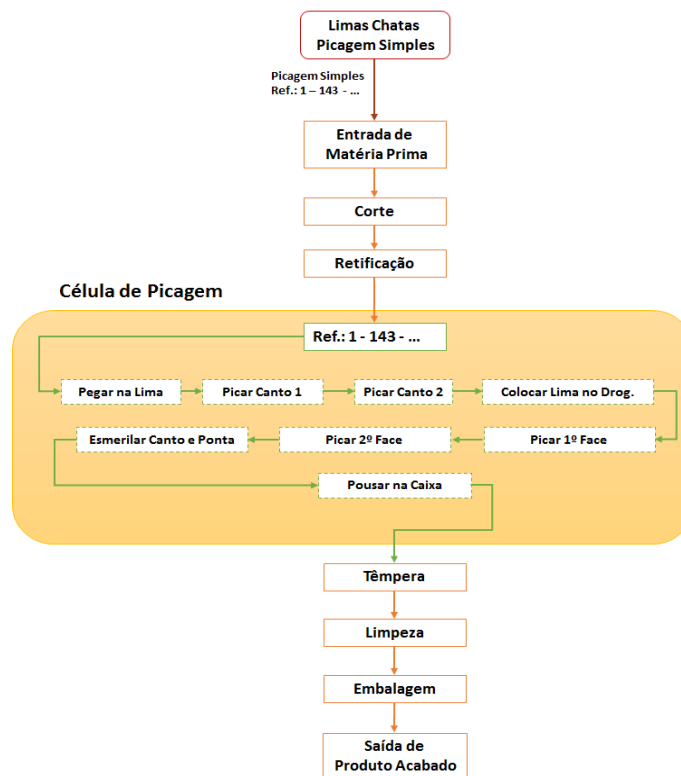


Figura 29 – Fluxograma da sequência de processos do modelo 1 – 143 - 06.

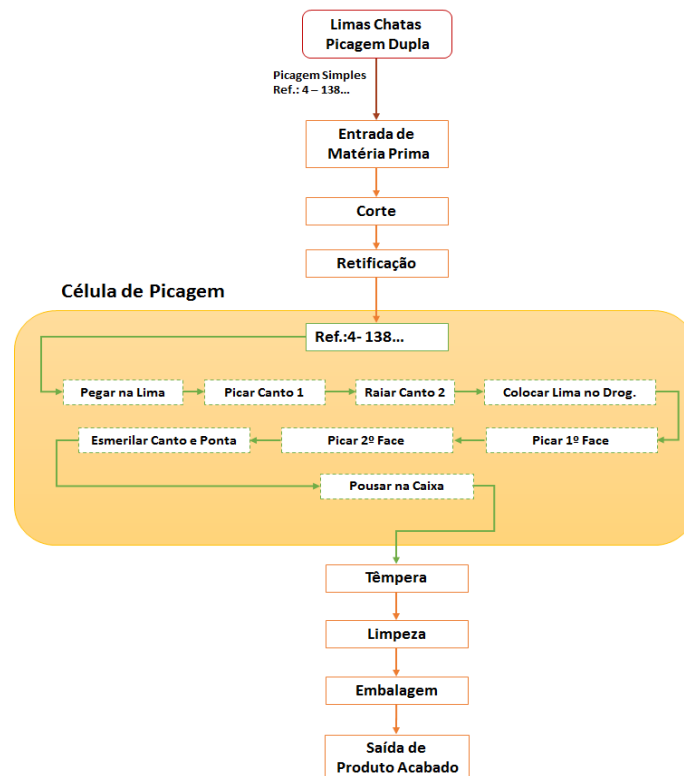


Figura 30 – Fluxograma da sequência de processos do modelo 4 – 138 - 06.

As tabelas 3 e 4 dizem respeito à informação da realidade atual, isto é, estão descritos os vários procedimentos realizados e movimentos do operador necessário à picagem do respetivo modelo de lima, assim como os valores dos períodos observados e registados.

Tabela 3 – Identificação da sequência de cada entidade do modelo 1-143-06.

Sequência de Produção do Modelo 1-143-06					
Procedimento	Descrição do Procedimento	Tempo Manual (s)		Tempo Automático (s)	Capacidade
		Procedimento	Rota	Máquina	
Procedimento 1	Pegar na Lima	1			
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 2	Deslocação Picar 1º Canto	2		7	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 3	Picar 2º Canto	2		8	1
-	Mudar de Máquina		3		
Procedimento 4	Colocar Lima no Drog e Limar 1ª Face	7		30	4
-	Mudar de Máquina		4		
Procedimento 5	Colocar a Picar a 1ª Face	3		6	1
-	Mudar de Máquina		4		
Procedimento 6	Colocar a Picar a 2ª Face	2		6	1
-	Mudar de Máquina		3		
Procedimento 7	Esmerilar Ponta	2			1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 8	Pousar lima na caixa	1			
Tempo Necessário à conclusão de um Ciclo na célula (s)		20	19	Total = 39 Segundos	

Tabela 4 – Identificação da sequência de cada entidade do modelo 4-138-06.

Sequência de Produção do Modelo 4-138-06					
Procedimento	Descrição do Procedimento	Tempo Manual (s)		Tempo Automático (s)	Capacidade
		Procedimento	Rota	Máquina	
Procedimento 1	Pegar na Lima	1			
-	Mudar de Máquina		3		
Procedimento 2	Deslocação Picar 1º Canto	2		7	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 3	Raiar 2º Canto	2		13	1
-	Mudar de Máquina		5		
Procedimento 4	Colocar Lima no Drog e Limar 1ª Face	7		30	4
-	Mudar de Máquina		4		
Procedimento 5	Colocar a Picar a 1ª Face	3		7	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 6	Colocar a Picar a 2ª Face	2		8	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 7	Esmerilar Ponta	2			1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 8	Pousar lima na caixa	1			
Tempo Necessário à conclusão de um Ciclo na célula (s)		20	19	Total = 39 Segundos	

#### 4.3.1 Desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão do Processo Atual de Picagem Simples Através da Simulação

Através da informação contida nas tabelas 3 e 4, inicia-se o desenvolvimento dos modelos de simulação, correspondentes aos cenários e tipos de lima identificados anteriormente. Para tal, será utilizado o *software* de simulação Arena. O ARENA visualiza o sistema a ser modelado como sendo constituído por um conjunto de estações de trabalho que prestam serviços a clientes ou entidades que se movem através do sistema. Esta característica básica pode ser utilizada em diferentes cenários, neste caso, o estudo da “Célula de Picagem”. Inicialmente, foram desenvolvidos os modelos do sistema em Arena (ver figura 31). De seguida, iniciou-se a criação dos modelos de animação correspondentes (ver figura 32). Posteriormente desenvolveu-se o módulo inicial de parametrização do tempo de processamento (ver figura 33).

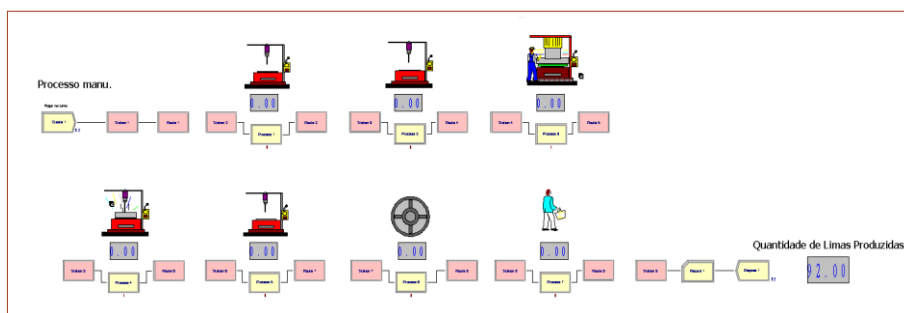


Figura 31 – Exemplo do modelo do sistema em Arena.

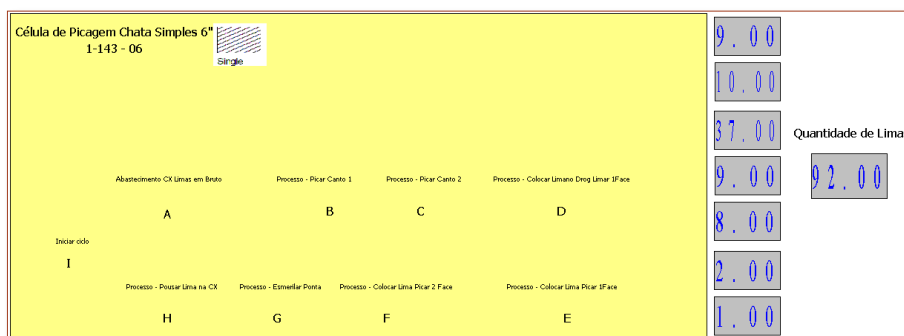


Figura 32 – Exemplo do modelo de animação em Arena.

Atual Process		Optimized Process	
Insert Time of Process 1	9	Insert Time of Process 1	37
Insert Time of Process 2	10	Insert Time of Process 2	22
Insert Time of Process 3	37	Insert Time of Process 3	22
Insert Time of Process 4	9	Insert Time of Process 4	2
Insert Time of Process 5	8	Insert Time of Process 5	1
Insert Time of Process 6	2		
Insert Time of Process 7	1		

Figura 33 – Exemplo do módulo inicial de parametrização do tempo de processamento.

Salienta-se que, previamente ao início da simulação, definiu-se o tempo de *warm up* de 60 segundos e um período de simulação com duração de 3660 segundos. A interface gráfica é gerada automaticamente sempre que o utilizador inicia a simulação, sendo possível recriar diferentes cenários. No final, são exibidas as quantidades produzidas.

#### 4.3.2 Validação do Sistema de Apoio à Decisão do Processo Atual de Picagem Simples

Após a obtenção dos valores provenientes da criação dos modelos de simulação e os valores observados no chão de fábrica, prosseguiu-se com o estudo da validação de cada um dos modelos. Na tabela 5 é efetuada a comparação das quantidades produzidas no sistema real e os resultados obtidos através da simulação.

Tabela 5 – Quantidade de unidades Produzidas modelo 1-143-xx-01 e modelo 4-138-xx-01.

Picagem	Dimensão	Modelo	Processo Atual	Modelo Simulação
	(in)	Lima Chata	Limas/h	Limas/h
Simples	6	1 - 143 - 06 - 01	92	92
Simples	8	1 - 143 - 08 - 01	95	94
Simples	12	1 - 143 - 12 - 01	67	67
Simples	6	4 - 138 - 06 - 01	92	92
Simples	8	4 - 138 - 08 - 01	95	94

A variabilidade entre os valores reais e os valores resultantes da simulação é mínima, com uma percentagem de erro inferior a 1%. Deste modo, conclui-se que os modelos de simulação desenvolvidos são validos, correspondendo a uma representação correta da realidade, sendo possível utilizá-los para a tomada de decisões.

#### 4.4 Melhoria do Processo de Picagem Simples Através da Simulação

Os modelos desenvolvidos que serão apresentados de seguida, correspondem à melhoria do sistema atual da empresa SNA Europe. Estes modelos compreendem a substituição de máquinas utilizadas em certas etapas do processo de picagem por uma nova máquina (ver figura 34), a qual possibilita a rotação da lima em 180° diminuindo deste modo o manuseamento da lima por parte do operador.

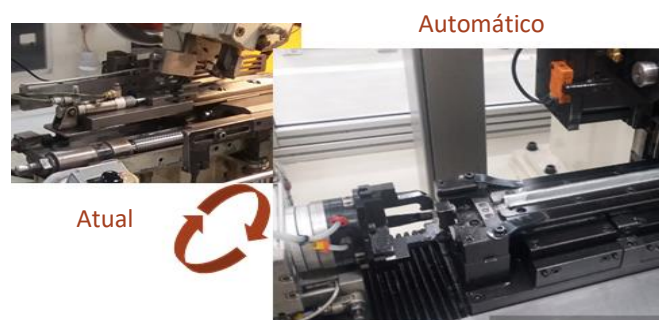


Figura 34 – Máquina de picagem atual e máquina de picagem automática [SNA].

As figuras 35 e 36 ilustram o fluxograma da sequência de processos necessários ao fabrico do modelo 1-143-06-01 e 4- 138-06-01, respetivamente, mais concretamente a configuração da ação de melhoria da sequência e agrupamento de procedimentos necessários ao processo de picagem.

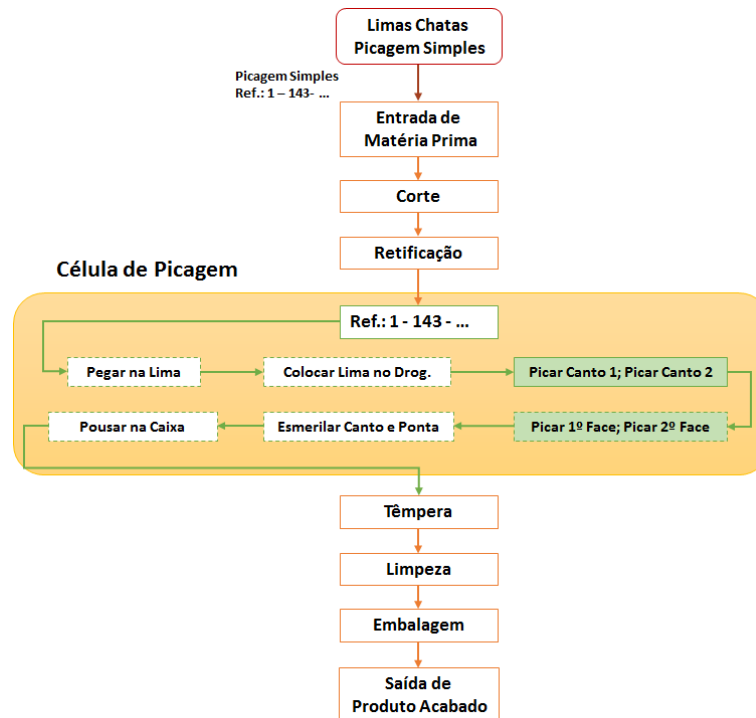


Figura 35 – Fluxograma da melhoria do modelo 1 – 143 - 06.

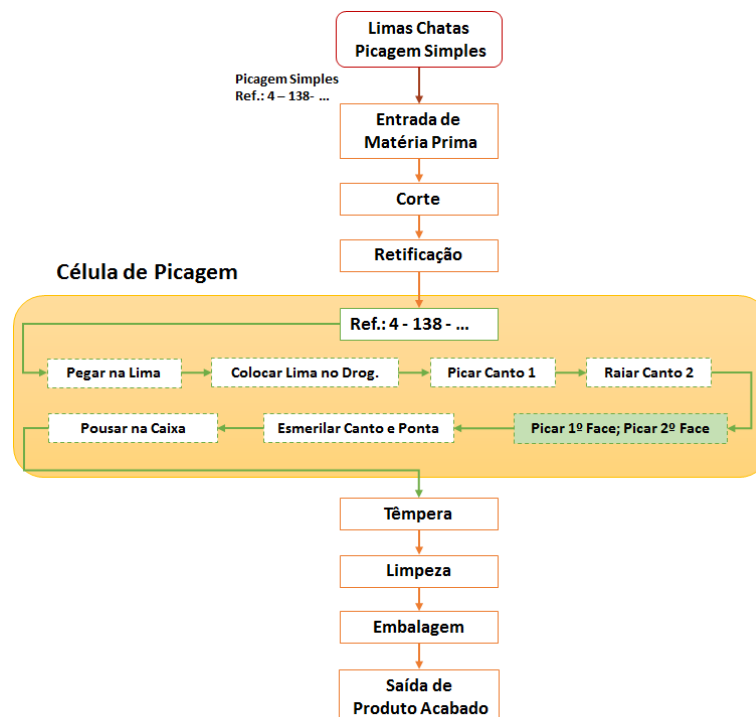


Figura 36 – Fluxograma da melhoria do modelo 4 – 138 - 06.



As tabelas 6 e 7 dizem respeito à informação da ação de melhoria, isto é, estão descritos os vários procedimentos realizados e movimentos do operador necessária à picagem do respetivo modelo de lima, assim como os valores dos períodos observados e registados.

Tabela 6 – Sequência de procedimentos resultante da melhoria do modelo 1-143-06.

Sequência de Produção do Modelo 1-143-06					
Procedimento	Descrição do Procedimento	Tempo Manual (s)		Tempo Automático (s)	Capacidade
		Procedimento	Rota	Máquina	
Procedimento 1	Pegar na Lima	1			
-	Mudar de Máquina		3		
Procedimento 2	Colocar Lima no Drog e Limar 1ª Face	7		37	4
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 3	Picar 1ª Canto; Picar 2ª Canto	2		22	1
-	Mudar de Máquina		4		
Procedimento 5	Picar a 1ª Face; Picar a 2ª Face	3		22	1
-	Mudar de Máquina		3		
Procedimento 6	Esmerilar Ponta	2			1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 7	Pousar lima na caixa	1			
Tempo Necessário à conclusão de um Ciclo na célula (s)		16	13	Total = 29 Segundos	

Tabela 7 – Sequência de procedimentos resultante da melhoria do modelo 4-138-06.

Sequência de Produção do Modelo 4-138-06					
Procedimento	Descrição do Procedimento	Tempo Manual (s)		Tempo Automático (s)	Capacidade
		Procedimento	Rota	Máquina	
Procedimento 1	Pegar na Lima	1			
-	Mudar de Máquina		3		
Procedimento 2	Colocar Lima no Drog e Limar 1ª Face	7		37	4
-	Mudar de Máquina		5		
Procedimento 3	Picar 1ª Canto	2		9	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 4	Raiar 2ª Canto	2		15	1
-	Mudar de Máquina		4		
Procedimento 5	Picar a 1ª Face; Picar a 2ª Face	3		25	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 6	Esmerilar Ponta	2			1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 7	Pousar lima na caixa	1			
Tempo Necessário à conclusão de um Ciclo na célula (s)		18	17	Total = 35 Segundos	

#### 4.4.1 Desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão na Melhoria do Processo de Picagem Simples Através da Simulação

Através da informação contida nas tabelas 6 e 7, inicia-se o desenvolvimento dos modelos de simulação correspondentes à melhoria dos cenários e tipos de lima referidos. Salienta-se que no desenvolvimento dos seguintes modelos, foram consideradas novas configurações do processo, assim como a introdução de processos automatizados, em detrimento do processo manual utilizado. O desenvolvimento dos modelos de melhoria seguem a mesma lógica implementada no desenvolvimento dos modelos na análise do processo atual, apresentada na secção 4.3.1.

#### 4.4.2 Análise de Resultados do Sistema de Apoio à decisão na Melhoria do Processo de picagem Simples

Após a obtenção dos valores provenientes da melhoria dos modelos de simulação e os valores observados no chão de fábrica, prosseguiu-se com o estudo de comparação de cada um dos modelos, por forma a verificar variações assinaláveis dos resultados.

##### 4.4.2.1 Limas Produzidas – Modelo 1-143-xx-01


A implementação de melhorias irá realçar a reorganização dos procedimentos, testando uma nova configuração, assim como o agrupamento de procedimentos (ver tabela 8).

Tabela 8 – Sequência dos procedimentos resultantes da melhoria modelo 1-143-xx-01.

Procedimento	Descrição dos Procedimentos	Tempo Manual (s)		Tempo Auto (s)	Capacidade
		Procedimento	Rota	Máquina	
Procedimento 2	Colocar Lima no Drog e Limar 1ª Face	7		30	4
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 3	Picar 1º Canto; Picar 2º Canto	2		15	1
-	Mudar de Máquina		4		
Procedimento 4	Picar a 1ª Face; Picar a 2ª Face	3		12	1

Na tabela 9 pode-se visualizar os resultados da melhoria, obtidos em cada um dos respetivos modelos de limas.

Tabela 9 – Melhoria dos modelos simulação, modelo 1-143-xx-01.

Picagem	Dimensão	Modelo	Processo Atual	Processo Otimizado	Melhoria
Simples	(in)	Lima Chata	Limas/h	Limas/h	%
	6	1 - 143 - 06 - 01	92	123	33,70
	8	1 - 143 - 08 - 01	94	119	26,60
	12	1 - 143 - 12 - 01	67	86	28,36

O gráfico da figura 37 traduz de forma visual os resultados obtidos na simulação dos modelos de melhoria de cada um dos respectivos modelos de limas.

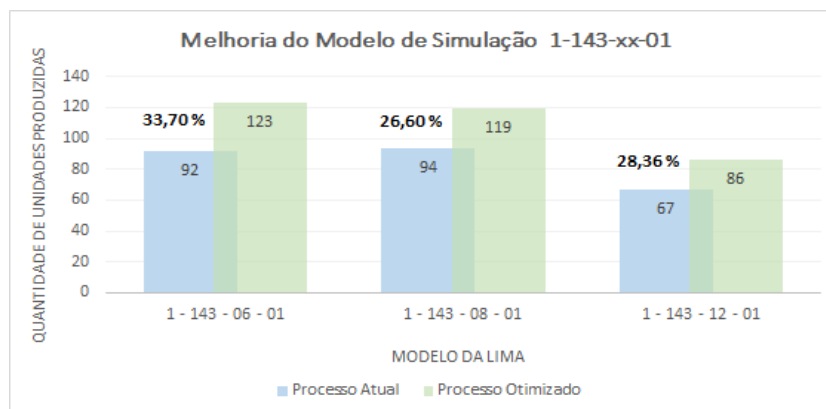


Figura 37 – Resultados obtidos na melhoria dos modelos de simulação (1-143-xx-01).

Analisando o gráfico da figura 37 denota-se um aumento considerável na quantidade de unidades produzidas nos três modelos de lima estudados. O aumento verificado traduz-se em cerca de mais 30% de unidades produzidas para cada modelo.

#### 4.4.2.2 Ciclo Operacional – Modelo 1-143-xx-01

O ciclo operacional é o conjunto de procedimentos realizados de forma sequencial no processo de picagem de uma lima. Atendendo que os modelos de simulação desenvolvidos, estão parametrizados para 60 minutos de duração, observa-se na tabela 9, as quantidades de limas produzidas no processo atual e no processo otimizado. Conclui-se deste modo que existe um ganho em termos de unidades de quantidades produzidas, relativas a cada modelo de lima. De acordo com os dados recolhidos (ver tabela 3) o tempo necessário para completar um ciclo operacional corresponde a 39 segundos, após a implementação das melhorias verifica-se que a duração do ciclo operacional corresponde a 29 segundos (ver tabela 6). Deste modo, conclui-se que o tempo ganho em cada ciclo operativo correspondente ao modelo 1-143-06-01 é de 10 segundos. Analisando a tabela 10, observasse o ganho em termos de quantidades de unidades produzidas e de tempo ganho em cada ciclo operativo, relativo a cada modelo de lima. A duração da simulação é de 60 minutos, considerando todos os modelos de lima analisados, o total de tempo ganho é de 13 minutos.

Tabela 10 – Melhoria do ciclo de operação do modelo 1-143-xx-01.

Picagem Simples	Modelo	Ganho		Total (min)
		Quantidades	Tempo (s)	
	1 - 143 - 06 - 01	31	10	5
	1 - 143 - 08 - 01	25	9	4
	1 - 143 - 12 - 01	19	14	4
	Total (min) =			13

#### 4.4.2.3 Taxa de Ocupação – Modelo 1-143-xx-01

De seguida, apresentam-se os valores relativos à taxa de ocupação de cada um dos procedimentos (equipamentos) durante o ciclo de produção na célula de fabrico. A informação encontra-se dividida em duas tabelas, uma com a taxa de ocupação relativa ao processo atual e outra relativa à taxa de ocupação do processo otimizado. A tabela 11 diz respeito aos valores correspondentes à taxa de ocupação da execução dos procedimentos, relativos ao processo atual.

Tabela 11 – Taxa de ocupação (%) do processo atual do modelo 1-143-xx-01.

Procedimento	Modelo		
	1-143-06-01	1-143-08-01	1-143-12-01
Colocar Lima no Drog e limar (percentagem max. 200%)	94,83 %	100 %	83 %
Colocar a Picar Canto 1	23,00 %	34,25 %	24,44 %
Colocar a Picar Canto 2	25,61 %	34,11 %	26,44 %
Colocar a Picar 1ª Picagem 1ª Face	23,14 %	31,67 %	34 %
Colocar a Picar 1ª Picagem 2ª Face	20,44 %	31,42 %	35,47 %
Esmerilar Ponta	5,11 %	7,83 %	9,31 %
Pousar lima na caixa	2,55 %	2,61 %	1,86 %

A tabela 12 indica os valores correspondentes à taxa de ocupação da execução dos procedimentos relativos ao processo, após melhoria.

Tabela 12 – Taxa de ocupação (%) do processo após melhoria do modelo 1-143-xx-01.

Procedimento	Modelo		
	1-143-06-01	1-143-08-01	1-143-12-01
Colocar Lima no Drog e limar (percentagem max. 200%)	127,64 %	131,11 %	107,33 %
Colocar a Picar Canto (s)	75,89 %	100,00 %	92,67 %
Picar 1ª Picagem 1ª Face; Picar 1ª Picagem 2ª Face	75,78 %	93,00 %	99,11 %
Esmerilar Ponta	6,83 %	9,92 %	11,94 %
Pousar lima na caixa	3,41 %	3,30 %	2,39 %

Por forma a comparar os valores relativos à taxa de ocupação do processo atual (valores reais) e os valores relativos à taxa de ocupação do processo resultante da melhoria, apresenta-se de seguida as figuras 38 e 39. O objetivo da representação gráfica dos valores apurados será a de evidenciar o período/taxa de ocupação que o equipamento não se encontra a produzir.

A figura 38 é relativa à representação gráfica dos valores referentes ao procedimento da picagem do canto da lima, enquanto a figura 39 é relativa à representação gráfica dos valores referentes ao procedimento da picagem das faces da lima. Encontram-se representados os três modelos de lima de picagem simples analisados.

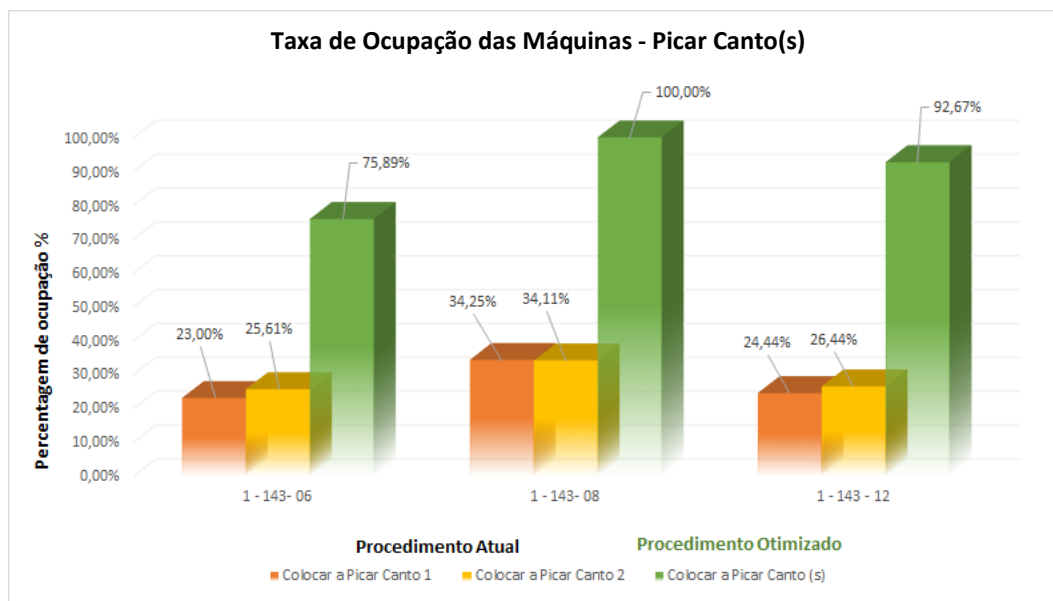


Figura 38 – Resultados obtidos na melhoria do procedimento de picagem do canto.

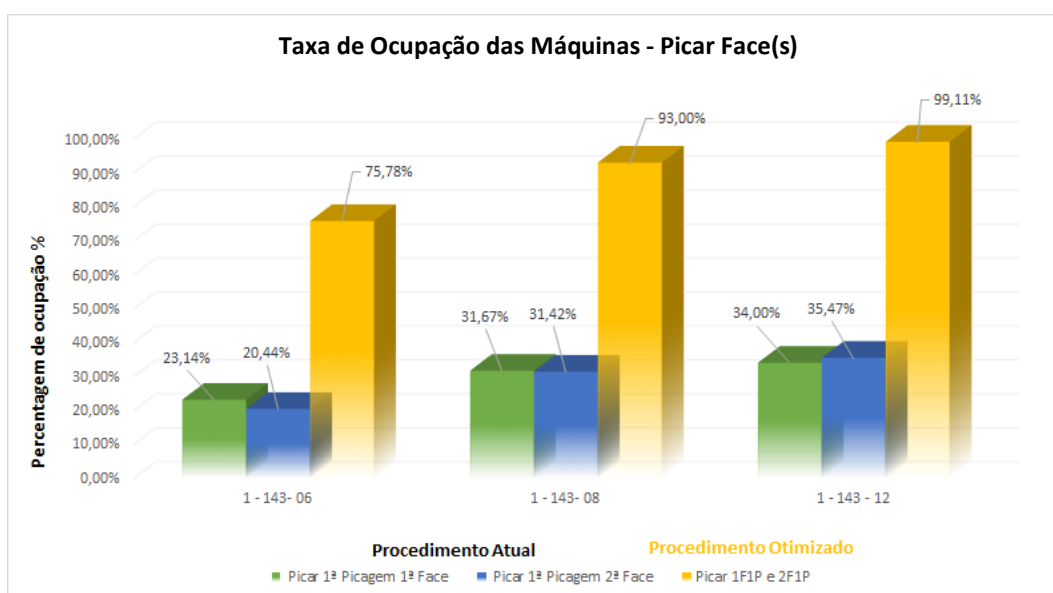


Figura 39 – Resultados obtidos na melhoria do procedimento de picagem da face.

É possível verificar em ambas as figuras que existe uma grande diferença na taxa de ocupação dos equipamentos, entre os procedimentos realizados no sistema de picagem atual e o procedimento realizado no sistema de picagem otimizado. Deste modo, é possível obter um rendimento superior dos equipamentos, assim como reduzir os procedimentos realizados pelo operador.

#### 4.4.2.4 Limas Produzidas – Modelo 4-138-xx-01


A tabela 13 ilustra os procedimentos correspondentes ao modelo 4-138-xx-01. Os procedimentos salientados a verde, simbolizam a substituição de duas máquinas de picagem manual por uma máquina de picagem e rotação automática.

Tabela 13 – Procedimentos do processo resultantes da melhoria do modelo 4-138-xx-01.

Procedimento	Descrição do Procedimento	Tempo Manual (s)		Tempo Auto (s)	Capacidade
		Procedimento	Rota	Máquina	
Procedimento 2	Colocar Lima no Drog e Limar 1ª Face	7		30	4
-	Mudar de Máquina	2			
Procedimento 5	Picar a 1ª Face; Picar a 2ª Face	3		15	1

Na tabela 14 pode-se visualizar os resultados da melhoria, obtidos em cada um dos respectivos modelos de limas.

Tabela 14 – Melhoria dos modelos simulação, modelo 4-138-xx-01.

Picagem	Dimensão	Modelo	Processo Atual	Processo Otimizado	Melhoria
Simples	(in)	Lima Chata	Limas/hora	Limas/hora	%
	6	4 - 138 - 06 - 01	92	102	10,87
	8	4 - 138 - 08 - 01	94	108	14,89

O gráfico da figura 40 traduz de forma visual os resultados obtidos na simulação do processo de melhoria em cada um dos respectivos modelos de limas.

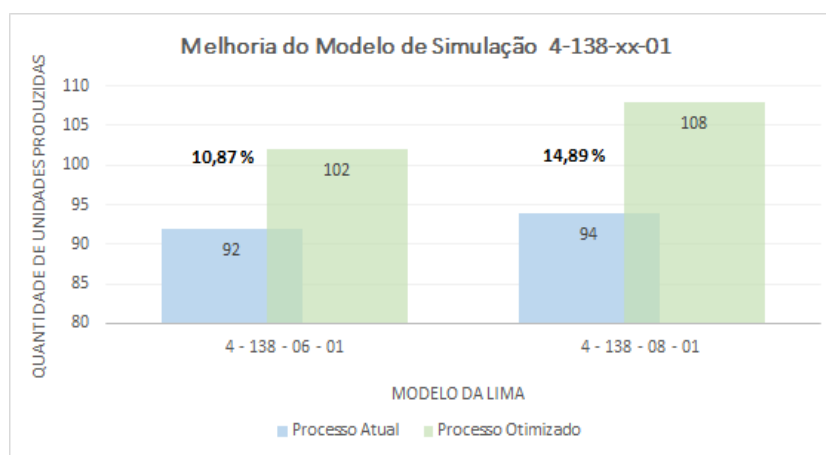


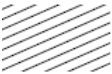
Figura 40 – Resultados obtidos na melhoria do modelo de simulação (4-138-xx-01).

Analisando o gráfico da figura 40, denota-se um aumento considerável nos três modelos de lima. O aumento verificado traduz-se em aproximadamente mais 13% do aumento de unidades produzidas para cada modelo.

#### 4.4.2.5 Ciclo Operacional – Modelo 4-138-xx-01

De acordo com os dados recolhidos (ver tabela 4) o tempo necessário para completar um ciclo operacional corresponde a 39 segundos, após a implementação das melhorias verifica-se que a duração do ciclo operacional corresponde a 35 segundos (ver tabela 7). Deste modo, conclui-se que o tempo ganho em cada ciclo operacional correspondente ao modelo 4-138-06-01 é de 4 segundos. Analisando a tabela 15, observasse o ganho em termos de quantidades de unidades produzidas e de tempo ganho em cada ciclo operacional, relativo a cada modelo de lima. A duração da simulação é de 60 minutos, considerando todos os modelos de lima analisados, o total de tempo ganho é de 2 minutos. Trata-se de um período de tempo com pouco impacto.

Tabela 15 – Melhoria do ciclo de operação, modelo 4-138-xx-01.

Picagem Simples	Modelo	Ganho		Total (min)
		Quantidades	Tempo (s)	
	4 - 138 - 06 - 01	10	4	1
	4 - 138 - 08 - 01	14	5	1
	Total (min) =			2

#### 4.4.2.6 Taxa de Ocupação – Modelo 4-138-xx-01

De seguida, apresentam-se os valores relativos à taxa de ocupação de cada um dos procedimentos durante o ciclo de produção na célula de fabrico. A tabela 16 diz respeito aos valores correspondentes à taxa de ocupação do processo atual, enquanto a tabela 17 indica os valores correspondentes à taxa de ocupação após a melhoria.

Tabela 16 – Taxa de ocupação (%) do processo atual modelo 4-138-xx-01.

Procedimento	Modelo	
	4-138-06-01	4-138-08-01
Colocar Lima no Drog e limar (percentagem max. 200%)	94,86 %	100 %
Colocar a Picar Canto 1	23,00 %	34,25 %
Colocar a Raiar Canto 2	38,56 %	42,06 %
Colocar a Picar 1ª Picagem 1ª Face	25,26 %	31,67 %
Colocar a Picar 1ª Picagem 2ª Face	25,56 %	31,33 %
Esmerilar Ponta	5,11 %	7,83 %
Pousar lima na caixa	2,55 %	2,61 %

Tabela 17 – Taxa de ocupação (%) do processo otimizado do modelo 4-138-xx-01.

Procedimento	Modelo	
	4-138-06-01	4-138-08-01
Colocar Lima no Drog e limar (percentagem max. 200%)	105,72 %	115,14 %
Colocar a Picar Canto 1	25,75 %	39,36 %
Colocar a Raiar Canto 2	42,81 %	48,53 %
Picar a 1ª Face; Picar a 2ª Face	71,25 %	84,61 %
Esmerilar Ponta	5,66 %	9,00 %
Pousar lima na caixa	5,66 %	9,00 %

A figura 41 ilustra a comparação dos valores relativos à taxa de ocupação do processo atual e os valores relativos à taxa de ocupação do processo resultante da melhoria na realização do procedimento de picagem das faces da lima. O objetivo da representação gráfica dos valores apurados será evidenciar o período que o equipamento não se encontra a produzir. Encontram-se representados os dois modelos de lima de picagem simples analisados.

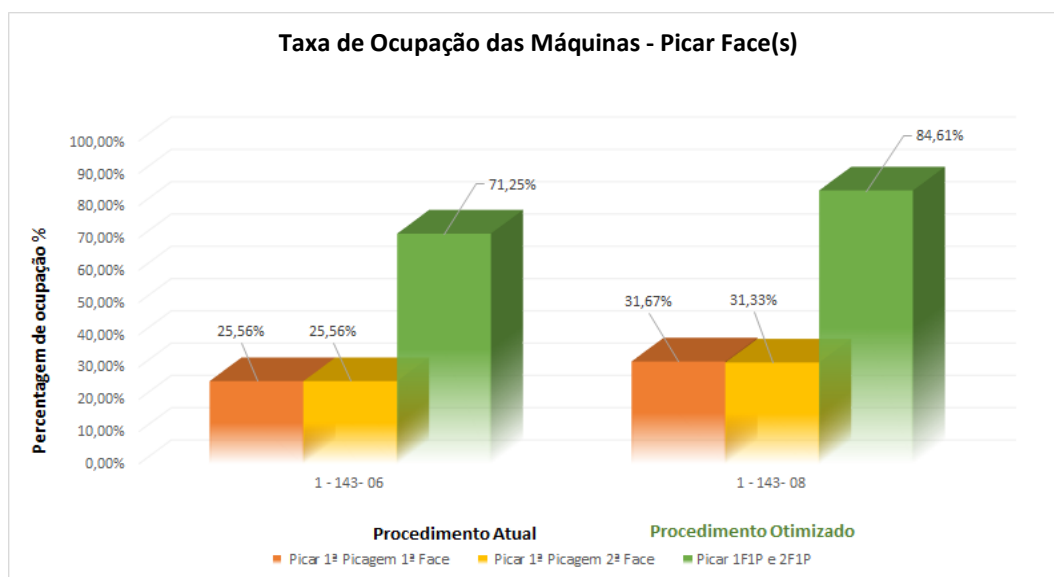


Figura 41 – Resultados obtidos na melhoria do procedimento de Picagem das Faces.

É possível verificar que existe uma grande diferença na taxa de ocupação dos equipamentos, entre os procedimentos realizados no sistema de picagem atual e o procedimento realizado no sistema de picagem otimizado. Verifica-se que a taxa de ocupação é mais acentuada no modelo 1-143-08. Resumindo, a melhoria do processo através do uso da simulação, traduz-se neste caso na obtenção de dados que permitem demonstrar um aumento da taxa de ocupação dos equipamentos. Deste modo, é possível obter um rendimento superior dos equipamentos, assim como eliminar um dos procedimentos realizados pelo operador.



#### 4.5 Análise do Processo Atual de Picagem Dupla Através da Simulação

O seguinte estudo é realizado, tendo em consideração as fases já referidas na secção 4.3. As figuras 42 e 43 ilustram o fluxograma da sequência de processos necessários ao fabrico do modelo 1-100-06-01 e 1- 110-06-01, respetivamente, mais concretamente, a sequência de procedimentos necessários ao processo de picagem.

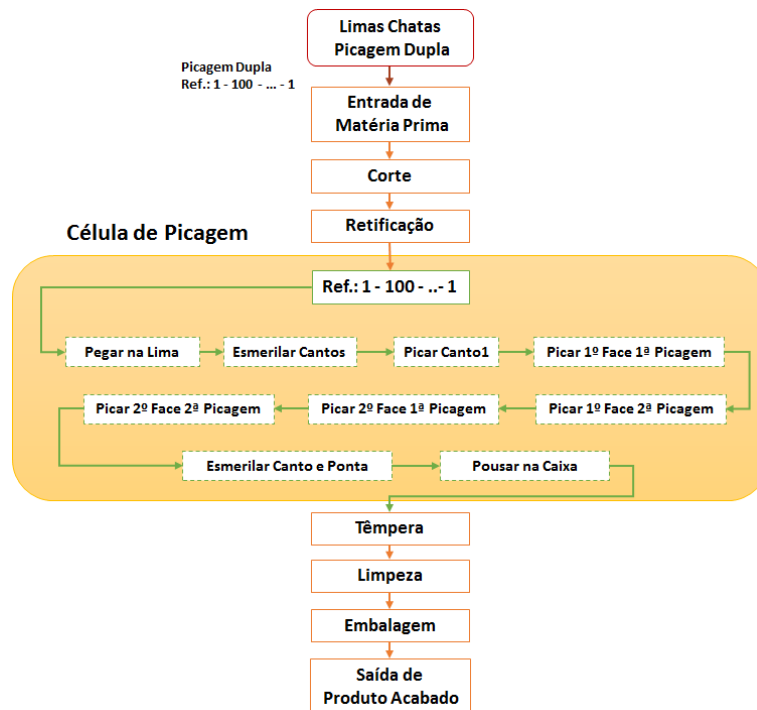


Figura 42 – Fluxograma da sequência de processos do modelo 1 – 100 - 06.

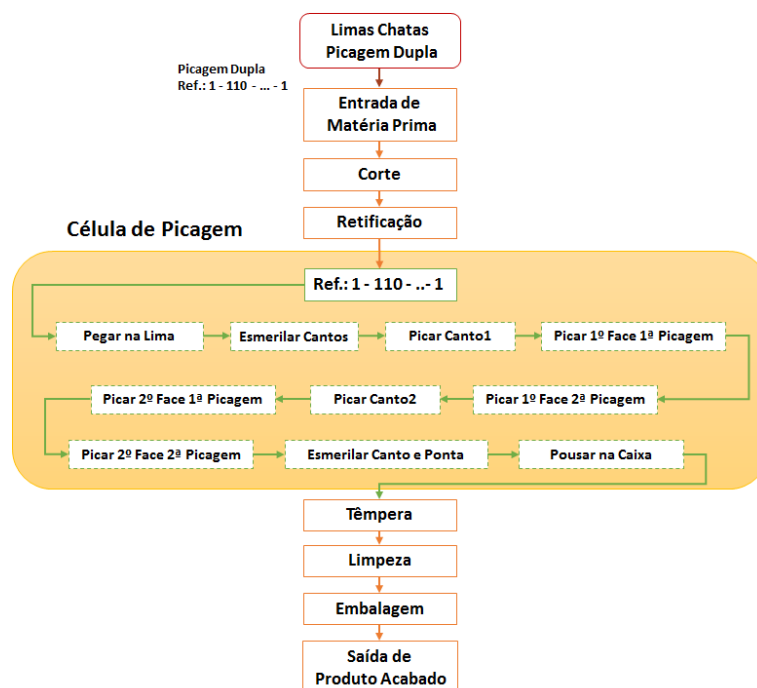


Figura 43 – Fluxograma da sequência de processos do modelo 1 – 110 - 06.

A tabela 18 e 19 dizem respeito à informação da realidade atual, isto é, estão descritos os vários procedimentos realizados e movimentos do operador necessários à picagem do respetivo modelo de lima, assim como os valores dos períodos observados e registados.

Tabela 18 – Identificação da sequência de cada entidade do modelo 1-100-06.

Sequência de Produção do Modelo 1-100-06					
Procedimento	Descrição do Procedimento	Tempo Manual (s)		Tempo Automático (s)	Capacidade
		Procedimento	Rota	Máquina	
Procedimento 1	Pegar na Lima	1			
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 2	Esmerilar Cantos	2			1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 3	Picar Canto	4		7	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 4	Colocar Picar 1º Face 1ª Picagem	3		4	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 5	Colocar Picar 1º Face 2ª Picagem	3		6	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 6	Colocar Picar 2º Face 1ª Picagem	3		4	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 7	Colocar Picar 2º Face 2ª Picagem	3		6	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 8	Esmerilar Canto e Ponta	5			1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 9	Pousar lima na caixa	1			
Tempo Necessário à conclusão de um Ciclo na célula (s)		25	14	Total = 39 Segundos	

Tabela 19 – Identificação da sequência de cada entidade do modelo 1-110-06.

Sequência de Produção do Modelo 1-110-06					
Procedimento	Descrição do Procedimento	Tempo Manual (s)		Tempo Automático (s)	Capacidade
		Procedimento	Rota	Máquina	
Procedimento 1	Pegar na Lima	1			
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 2	Esmerilar Cantos	2			1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 3	Picar Canto 1	4		7	1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 4	Colocar Picar 1º Face 1ª Picagem	4		6	1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 5	Colocar Picar 1º Face 2ª Picagem	4		4	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 6	Colocar Picar 2º Face 1ª Picagem	3		7	1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 7	Picar Canto 2	3		6	1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 8	Colocar Picar 2º Face 2ª Picagem	4		4	1
-	Mudar de Máquina		3		
Procedimento 9	Esmerilar Canto e Ponta	2			1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 10	Pousar lima na caixa	1			
Tempo Necessário à conclusão de um Ciclo na célula (s)		28	14	Total = 42 Segundos	

#### 4.5.1 Desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão do Processo Atual de Picagem Dupla Através da Simulação

Através da informação contida nas tabelas 18 e 19, é possível dar início ao desenvolvimento dos modelos de simulação correspondentes à melhoria dos cenários e modelos de lima referidos anteriormente. O desenvolvimento do sistema de apoio à decisão já foi abordado na secção 4.3.1.

#### 4.5.2 Validação do Sistema de Apoio à Decisão do Processo Atual de Picagem Dupla

Após a obtenção dos valores provenientes do desenvolvimento dos modelos de simulação, e os valores observados no chão de fábrica, prosseguiu-se com o estudo da validação de cada um dos modelos. A tabela 20 indica as quantidades produzidas de cada dimensão do modelo 1-100-xx-01 e do modelo 1- 110 – 06 - 01 no sistema atual comparando-os com os resultados obtidos nos modelos de simulação.

Tabela 20 – Quantidade de unidades produzidas 1-100-xx-01.

Picagem	Dimensão	Modelo	Processo Atual	Modelo Simulação
	(in)	Lima Chata	Limas/h	Limas/h
Dupla	4	1 - 100 - 04 - 01	100	100
Dupla	6	1 - 100 – 06 - 01	94	93
Dupla	8	1 - 100 - 08 - 01	87	86
Dupla	12	1 - 100 - 12 - 01	86	86
Dupla	4	1 - 110 - 04 - 01	92	93
Dupla	6	1 - 110 – 06 - 01	87	86
Dupla	8	1 - 110 - 08 - 01	80	80
Dupla	12	1 - 110 - 12 - 01	82	81

Analisando a tabela 20, conclui-se que a variabilidade entre os valores do processo atual e os valores resultantes da simulação é mínima, com uma percentagem de erro inferior a 1%. Deste modo, conclui-se que os modelos de simulação desenvolvidos são válidos, correspondendo a uma representação correta da realidade, sendo possível utilizá-los para a tomada de decisões.

#### 4.6 Melhoria do Processo de Picagem Dupla Através da Simulação

Os modelos de simulação desenvolvidos que serão apresentados seguidamente, correspondem à melhoria do sistema atual da empresa SNA Europe. As figuras 44 e 45 ilustram o fluxograma da sequência de processos necessários ao fabrico do modelo 1- 100-06-01 e 1- 110-06-01 respetivamente, mais concretamente a configuração da ação de melhoria da sequência e agrupamento de procedimentos necessários ao processo de picagem.

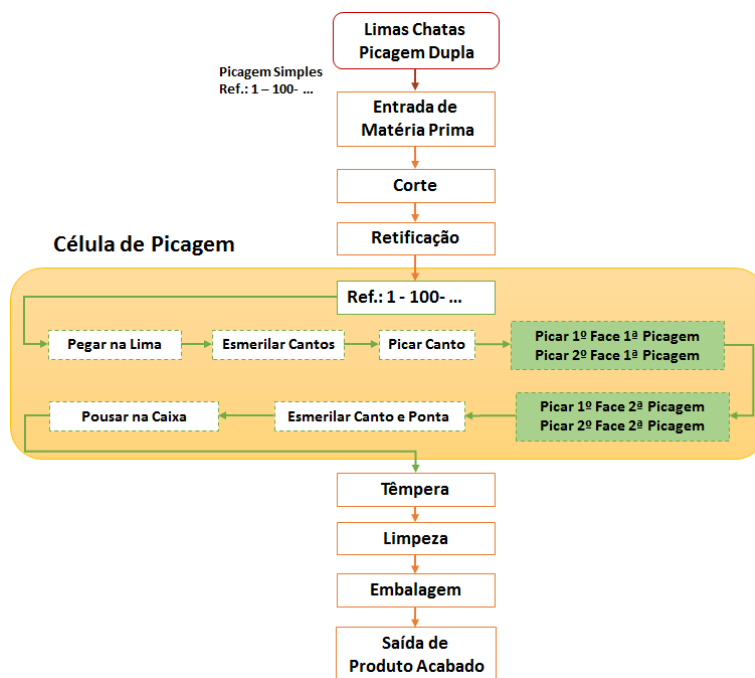


Figura 44 – Fluxograma da melhoria do modelo 1 – 100 - 06.

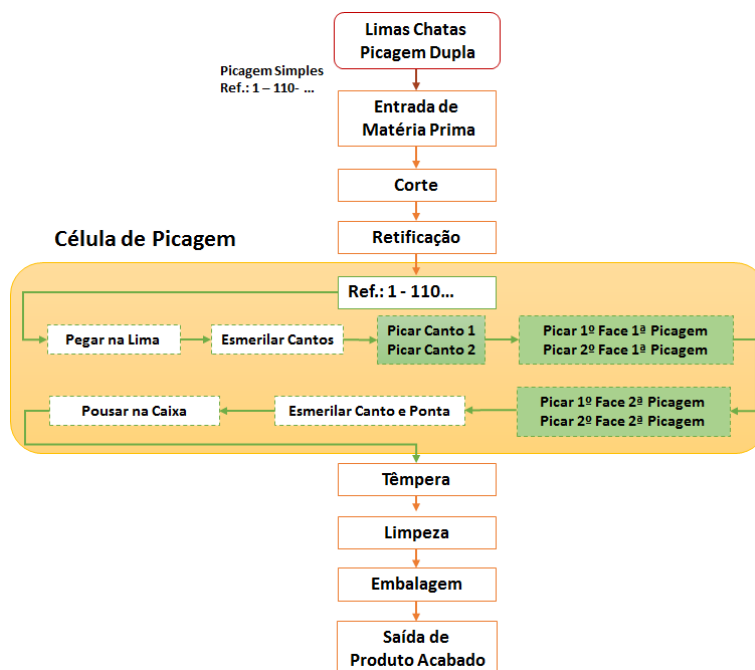


Figura 45 – Fluxograma da melhoria do modelo 1 – 110 - 06.

A tabela 21 e tabela 22 dizem respeito à informação da melhoria, isto é, estão descritos os vários procedimentos realizados e movimentos do operador necessários à picagem do respetivo modelo de lima, assim como os valores dos períodos observados e registados.

Tabela 21 – Sequência de procedimentos resultante da melhoria do modelo 1-100-06.

Sequência de Produção do Modelo 1-100-06					
Procedimento	Descrição do Procedimento	Tempo Manual (s)		Tempo Automático (s)	Capacidade
		Procedimento	Rota	Máquina	
Procedimento 1	Pegar na Lima	1			
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 2	Esmerilar Cantos	2			1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 3	Picar Canto 1	4		7	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 4	Picar 1º F 1ª Pic; Picar 2º F 1ª Pic.	3		15	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 5	Picar 1º F 2ª Pic; Picar 2º F 2ª Pic.	3		19	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 6	Esmerilar Canto e Ponta	5			1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 7	Pousar lima na caixa	1			
Tempo Necessário à conclusão de um Ciclo na célula (s)		19	10	Total = 29 Segundos	

Tabela 22 – Sequência de procedimentos resultante da melhoria do modelo 1-110-06.

Sequência de Produção do Modelo 1-100-06					
Procedimento	Descrição do Procedimento	Tempo Manual (s)		Tempo Automático (s)	Capacidade
		Procedimento	Rota	Máquina	
Procedimento 1	Pegar na Lima	1			
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 2	Esmerilar Cantos	2			1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 3	Picar Canto 1; Picar Canto 2	4		21	1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 4	Picar 1º F 1ª Pic; Picar 2º F 1ª Pic.	4		19	1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 5	Picar 1º F 2ª Pic; Picar 2º F 2ª Pic.	4		15	1
-	Mudar de Máquina		3		
Procedimento 6	Esmerilar Canto e Ponta	2			1
-	Mudar de Máquina		1		
Procedimento 7	Pousar lima na caixa	1			
Tempo Necessário à conclusão de um Ciclo na célula (s)		18	10	Total = 28 Segundos	

#### 4.6.1 Desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão na Melhoria do Processo de Picagem Dupla Através da Simulação

Através da informação contida nas tabelas 21 e 22, inicia-se o desenvolvimento dos modelos de simulação correspondentes à melhoria dos cenários e tipos de lima referidos. Salienta-se que no desenvolvimento dos seguintes modelos, foram consideradas novas configurações do processo, assim como a introdução de processos automatizados, em detrimento do processo manual utilizado. O desenvolvimento dos modelos de melhoria seguem a mesma lógica implementada no desenvolvimento dos modelos na análise do processo atual, apresentada na secção 4.3.1.

#### 4.6.2 Análise de Resultados do Sistema de Apoio à Decisão na Melhoria do Processo de Picagem Dupla

Após a obtenção dos valores provenientes da melhoria dos modelos de simulação, e os valores observados no chão de fábrica, prosseguiu-se com o estudo de comparação de cada um dos modelos, por forma a verificar variações assinaláveis dos resultados.

##### 4.6.2.1 Limas Produzidas – Modelo 1-100-xx-01

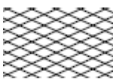
A implementação de melhorias irá realçar a reorganização dos procedimentos, testando uma nova configuração, assim como o agrupamento de procedimentos (ver tabela 23).

Tabela 23 – Sequência dos procedimentos otimizados do modelo 1-100-xx-01.

Procedimento	Descrição do Procedimento	Tempo Manual (s)		Tempo Auto (s)	Capacidade
		Procedimento	Rota	Máquina	
Procedimento 3	Picar 1º Face 1º P; Picar 2º Face 1º Pic	3		15	1
-	Mudar de Máquina		2		
Procedimento 4	Picar 1º Face 2º P; Picar 2º Face 2º Pic	3		19	1

Na tabela 24 pode-se visualizar os resultados da melhoria, obtidos em cada um dos respetivos modelos de limas.

Tabela 24 – Melhoria dos modelos simulação, modelo 1-100-xx-01.

Picagem	Dimensão	Modelo	Processo Atual	Processo Otimizado	Melhoria
Dupla	(in)	Lima Chata	Limas/h	Limas/h	%
	4	1 - 100 - 04 - 01	100	128	28,28 %
	6	1 - 100 - 06 - 01	94	124	31,91 %
	8	1 - 100 - 08 - 01	87	112	28,74 %
	12	1 - 100 - 12 - 01	86	105	22,09 %

O gráfico da figura 46 indica de forma visual os resultados obtidos na simulação do processo de melhoria em cada um dos respetivos modelos de limas.

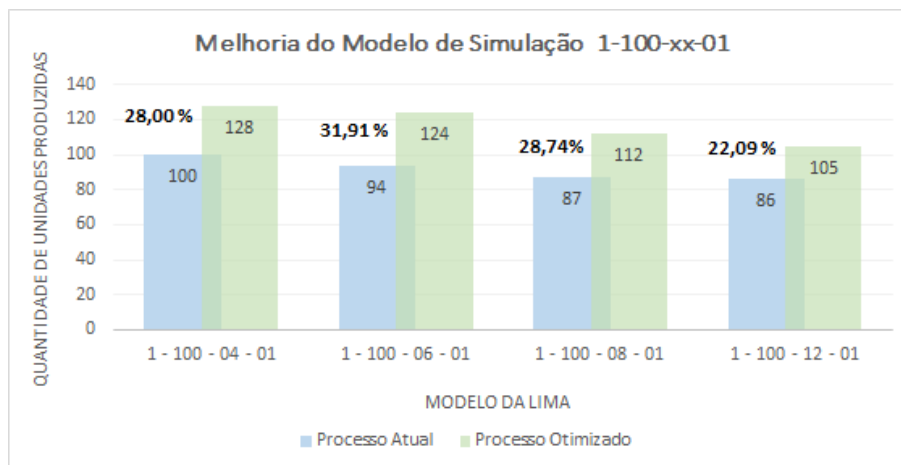


Figura 46 – Resultados obtidos na melhoria do modelo de simulação (1-100-xx-01).

Analisando o gráfico da figura 46, denota-se um aumento considerável nos quatro modelos de lima. O aumento de unidades produzidas verificado traduz-se em cerca de mais 30% nos modelos 1-100-06 e 1-100-08 e mais 25% nos modelos 1-100-04 e 1 - 100 - 12.

#### 4.6.2.2 Ciclo Operacional – Modelo 1-100-xx-01

De acordo com os dados recolhidos (ver tabela 18) o tempo necessário para completar um ciclo operacional corresponde a 39 segundos, após a implementação das melhorias verifica-se que a duração do ciclo operacional corresponde a 29 segundos (ver tabela 21). Deste modo, conclui-se que o tempo ganho em cada ciclo operacional correspondente ao modelo 1-100-06-01 é de 10 segundos. Analisando a tabela 25, observe-se o ganho em termos de quantidades de unidades produzidas e de tempo ganho em cada ciclo operacional, relativo a cada modelo de lima. A duração da simulação é de 60 minutos, considerando todos os modelos de lima analisados, o total de tempo ganho é de 16 minutos. Trata-se de um período de tempo considerável, pois pode ser utilizado, na alocação do operador à realização de outro (s) procedimento (s).

Tabela 25 – Melhoria do ciclo de operação, modelo 1-100-xx-01.

Picagem Dupla	Modelo	Ganho		Total (min)
		Quantidades	Tempo (s)	
	1 - 100 - 04 - 01	28	8	4
	1 - 100 - 06 - 01	30	10	5
	1 - 100 - 08 - 01	25	10	4
	1 - 100 - 12 - 01	19	9	3
	Total (min) =			16

#### 4.6.2.3 Taxa de Ocupação – Modelo 1-100-xx-01

De seguida, apresentam-se os valores relativos à taxa de ocupação de cada um dos procedimentos durante o ciclo de produção na célula de fabrico. A tabela 26 diz respeito aos valores correspondentes à taxa de ocupação da execução dos procedimentos, relativos ao processo atual.

Tabela 26 – Taxa de ocupação (%) do processo atual modelo 1-100-xx-01.

Procedimento	Modelo			
	1-100-04-01	1-100-06-01	1-100-08-01	1-100-12-01
Esmerilar Cantos	5,55 %	5,12 %	4,77 %	4,77 %
Colocar a Picar Canto 1	22,22 %	28,25 %	33,11 %	21,25 %
Colocar a Picar 1ª Picagem 1ª Face	13,89 %	17,94 %	21,50 %	21,47 %
Colocar a Picar 2ª Picagem 1ª Face	13,89 %	23,06 %	21,50 %	35,83 %
Colocar a Picar 1ª Picagem 2ª Face	11,11 %	17,94 %	28,44 %	18,94 %
Colocar a Picar 2ª Picagem 2ª Face	13,89 %	22,92 %	26,22 %	33,33 %
Desempenar Lima na Prensa	-	-	9,56 %	9,56 %
Esmerilar Canto e Ponta	13,89 %	12,67 %	11,94 %	11,94 %
Pousar lima na caixa	2,77 %	2,53 %	2,38 %	2,38 %

A tabela 27 diz respeito aos valores correspondentes à taxa de ocupação da execução dos procedimentos, relativos ao processo resultantes da melhoria.

Tabela 27 – Taxa de ocupação (%) do processo otimizado do modelo 1-100-xx-01.

Procedimento	Modelo			
	1-100-04-01	1-100-06-01	1-100-08-01	1-100-12-01
Esmerilar Cantos	7,11 %	6,91v	6,27 %	5,88 %
Colocar a Picar Canto (s)	28,67 %	37,92 %	43,72 %	26,50
Picar 1ª Face 1ª Picagem; Picar 2ª Face 1ª Picagem	49,89 %	62,11 %	78,22 %	64,67 %
Picar 1ª Face 2ª Picagem; Picar 2ª Face 2ª Picagem	53,75 %	75,78 %	75,03 %	100 %
Desempenar Lima na Prensa	-	-	12,47 %	11,78 %
Esmerilar Canto e Ponta	17,78 %	7,72 %	15,56 %	14,72 %
Pousar lima na caixa	3,55 %	3,86 %	3,11 %	2,94 %

Por forma a comparar os valores relativos à taxa de ocupação do processo atual (valores reais) e os valores relativos à taxa de ocupação do processo resultante da melhoria, apresentam-se de seguida as figuras 47 e 48. O objetivo da representação gráfica dos valores apurados será a de evidenciar o período/taxa de ocupação que o equipamento não se encontra a produzir.

A figura 47 é relativa à representação gráfica dos valores referentes ao procedimento da primeira picagem da lima, enquanto a figura 48 é relativa à representação gráfica dos



valores referentes ao procedimento da segunda picagem da lima. Encontram-se representados os quatro modelos de lima de picagem dupla analisados.

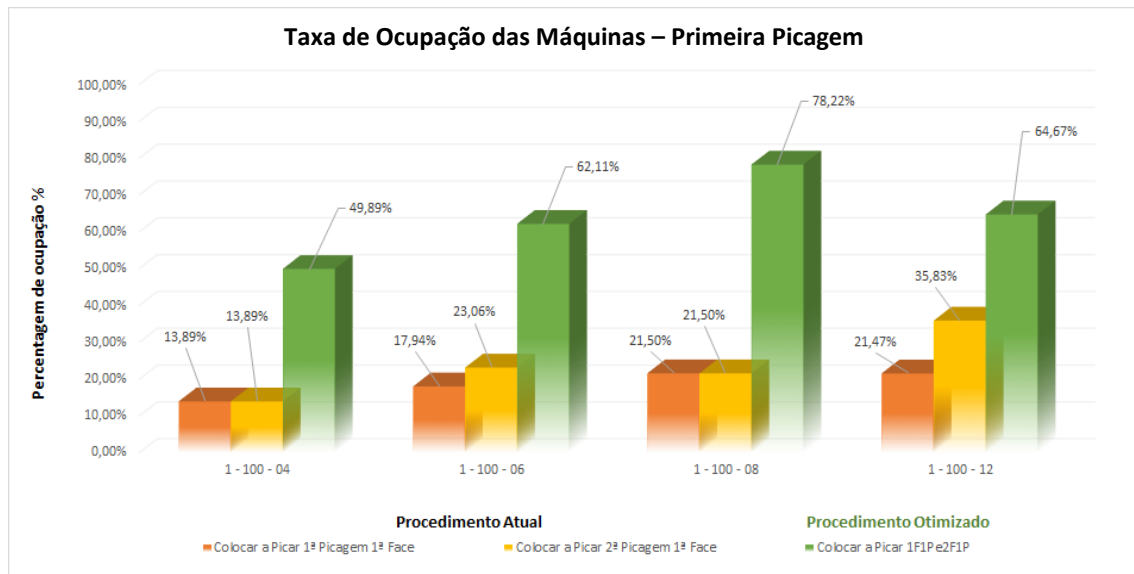


Figura 47 – Resultados obtidos na melhoria do procedimento de Primeira picagem.

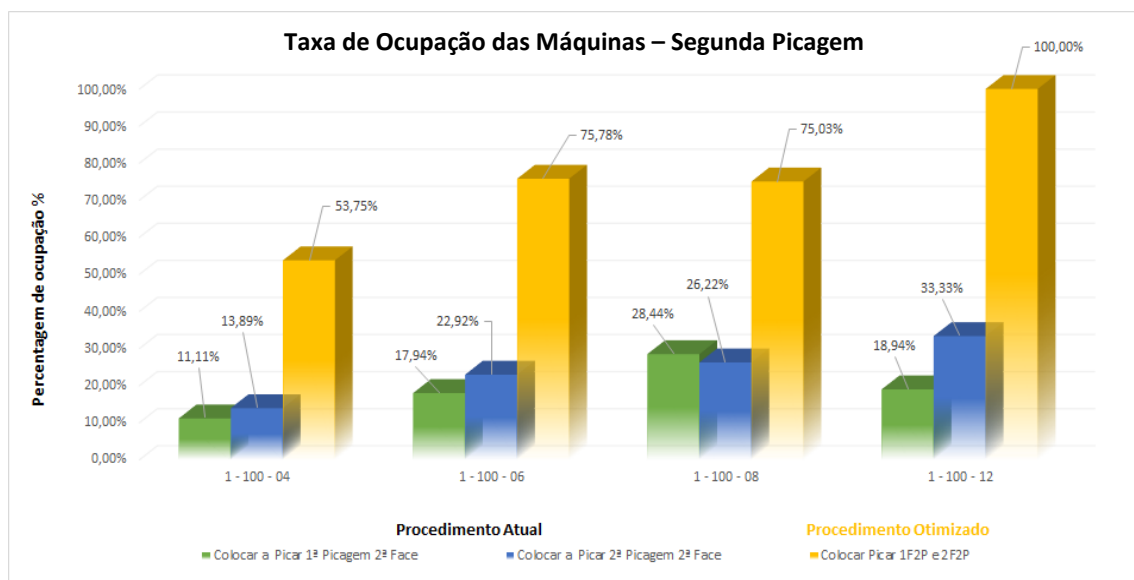


Figura 48 – Resultados obtidos na melhoria do procedimento de Segunda Picagem.

É possível verificar em ambas as figuras que existe uma grande diferença na taxa de ocupação dos equipamentos, entre os procedimentos realizados no sistema de picagem atual e o procedimento realizado no sistema de picagem otimizado. Relativamente à melhoria verificada, de entre os quatro modelos de lima analisados, o modelo 1-100-04 apresenta a taxa de ocupação mais baixa, enquanto o modelo 1-100-12 apresenta a taxa de ocupação mais elevada. Deste modo, é possível obter um rendimento superior dos equipamentos, assim como reduzir os procedimentos realizados pelo operador.

#### 4.6.2.4 *Limas Produzidas – Modelo 1-110-xx-01*

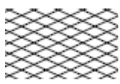
A tabela 28 ilustra os procedimentos correspondentes ao modelo 1-110-xx-01. Os procedimentos salientados a verde simbolizam a substituição de seis máquinas de picagem manual por três máquinas de picagem e rotação automática.

Tabela 28 – Sequência dos procedimentos otimizados do modelo 1-110-xx-01.

Procedimento	Descrição do Procedimento	Tempo Manual (s)		Tempo Auto (s)	Capacidade)
		Procedimento	Rota	Máquina	
Procedimento 2	Picar 1º Face 1º P; Picar 2º Face 1º Pic	4		21	1
Mudar de Máquina		1			
Procedimento 3	Picar 1º Face 1º P; Picar 2º Face 1º Pic	4		19	1
-	Mudar de Máquina	1			
Procedimento 4	Picar 1º Face 2º P; Picar 2º Face 2º Pic	4		15	1

Na tabela 29 pode-se visualizar os resultados da melhoria, obtidos em cada um dos respectivos modelos de limas.

Tabela 29 – Melhoria dos modelos simulação, modelo 1-110-xx-01.

Picagem	Dimensão	Modelo	Processo Atual	Processo Otimizado	Melhoria
Dupla	(in)	Lima Chata	Limas/h	Limas/h	%
	4	1 - 110 - 04 - 01	93	139	49,46 %
	6	1 - 110 - 06 - 01	86	128	48,84 %
	8	1 - 110 - 08 - 01	80	119	48,75 %
	12	1 - 110 - 12 - 01	81	99	22,22 %

O gráfico da figura 49 traduz de forma visual os resultados obtidos na simulação do processo de melhoria. Observa-se um aumento de unidades produzidas em cerca de mais 50% nos modelos 1-110-04, 1-110-06 e 1-110-08 e mais 20% no modelo 1-100-12.

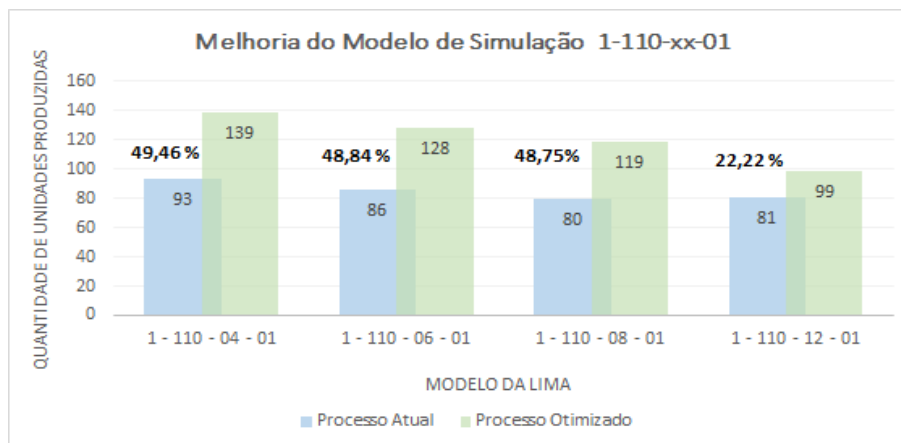
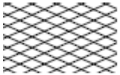


Figura 49 – Resultados obtidos na melhoria do modelo de simulação (1-110-xx-01).

#### 4.6.2.5 Ciclo Operacional – Modelo 1-110-xx-01

De acordo com os dados recolhidos (ver tabela 19) o tempo necessário para completar um ciclo operacional corresponde a 42 segundos, após a implementação das melhorias verifica-se que a duração do ciclo operacional corresponde a 28 segundos (ver tabela 22). Deste modo, conclui-se que o tempo ganho em cada ciclo operacional correspondente ao modelo 1-110-06-01 é de 14 segundos. Analisando a tabela 30, observasse o ganho em termos de quantidades de unidades produzidas e de tempo ganho em cada ciclo operacional, relativo a cada modelo de lima. A duração da simulação é de 60 minutos, considerando todos os modelos de lima analisados, o total de tempo ganho é de 35 minutos. Trata-se de um período de tempo considerável, pois pode ser utilizado, na alocação do operador à realização de outro (s) procedimento (s).

Tabela 30 – Melhoria do ciclo de operação, modelo 1-110-xx-01.

Picagem Dupla	Modelo	Ganho		Total (min)
		Quantidades	Tempo (s)	
	1 - 110 - 04 - 01	46	14	11
	1 - 110 - 06 - 01	42	14	10
	1 - 110 - 08 - 01	39	15	10
	1 - 110 - 12 - 01	18	12	4
	Total (min) =			35

#### 4.6.2.6 Taxa de Ocupação – Modelo 1-110-xx-01

A tabela 33 diz respeito aos valores correspondentes à taxa de ocupação da execução dos procedimentos, relativos ao processo atual.

Tabela 31 – Taxa de ocupação (%) do processo atual modelo 1-110-xx-01.

Procedimento	Modelo			
	1-110-04-01	1-110-06-01	1-110-08-01	1-110-12-01
Esmerilar Cantos	5,11 %	4,77 %	4,44 %	4,55 %
Colocar a Picar Canto 1	20,44 %	25,97 %	35,56 %	22,56 %
Colocar a Picar Canto 2	20,47 %	23,86 %	31,11 %	20,50 %
Colocar a Picar 1ª Picagem 1ª Face	15,36 %	23,89 %	22,22 %	22,78 %
Colocar a Picar 2ª Picagem 1ª Face	18,08 %	19,11 %	22,22 %	31,78 %
Colocar a Picar 1ª Picagem 2ª Face	15,33 %	21,25 %	24,44 %	20,44 %
Colocar a Picar 2ª Picagem 2ª Face	15,33 %	19,11 %	26,67 %	26,91 %
Desempenar Lima na Prensa	-	-	8,88 %	9,11 %
Esmerilar Canto e Ponta	5,11 %	4,77 %	4,44 %	4,55 %
Pousar lima na caixa	2,58 %	2,38 %	2,22 %	2,27 %

A tabela 32 diz respeito aos valores correspondentes à taxa de ocupação da execução dos procedimentos, relativos ao processo otimizado.

Tabela 32 – Taxa de ocupação (%) do processo otimizado do modelo 1-110-xx-01.

Procedimento	Modelo			
	1-110-04-01	1-110-06-01	1-110-08-01	1-110-12-01
Esmerilar Cantos	7,66 %	7,11 %	6,66 %	5,55 %
Colocar a Picar Canto (s)	77,00 %	89,28 %	93,33 %	66,67 %
Picar 1ª Face 1ª Picagem; Picar 2ª Face 1ª Picagem	61,61 %	82,22 %	83,33 %	66,67 %
Picar 1ª Face 2ª Picagem; Picar 2ª Face 2ª Picagem	65,25 %	67,97 %	86,67 %	88,89 %
Desempenar Lima na Prensa	-	-	13,22 %	11,06 %
Esmerilar Canto e Ponta	7,72 %	7,11 %	6,61 %	5,55 %
Pousar lima na caixa	3,86 %	3,55 %	3,30 %	2,75 %

Por forma a comparar os valores relativos à taxa de ocupação do processo atual (valores reais) e os valores relativos à taxa de ocupação do processo resultante da melhoria, apresentam-se de seguida as figuras 50, 51 e 52. Nas figuras referenciadas anteriormente encontram-se representados os quatro modelos de lima de picagem dupla analisados. O objetivo da representação gráfica dos valores apurados será a de evidenciar o período/taxa de ocupação que o equipamento não se encontra a produzir. A figura 50 é relativa à representação gráfica dos valores referentes ao procedimento da picagem das laterais da lima, ou cantos da lima.

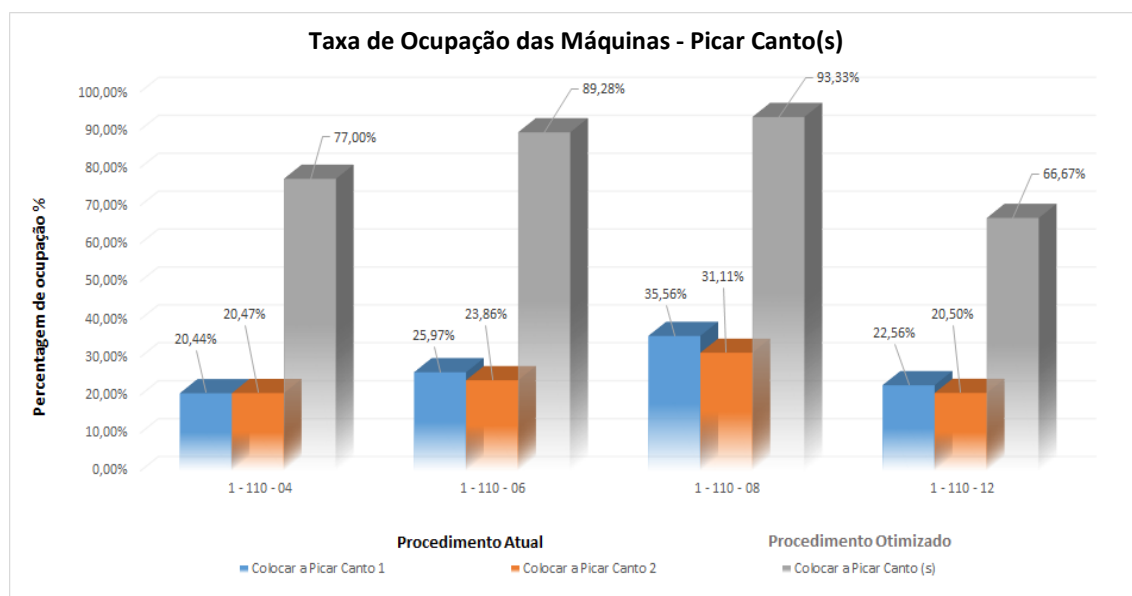


Figura 50 – Resultados da melhoria do procedimento de Picagem dos Cantos.

A figura 51 é relativa à representação gráfica dos valores referentes ao procedimento da primeira picagem da lima.

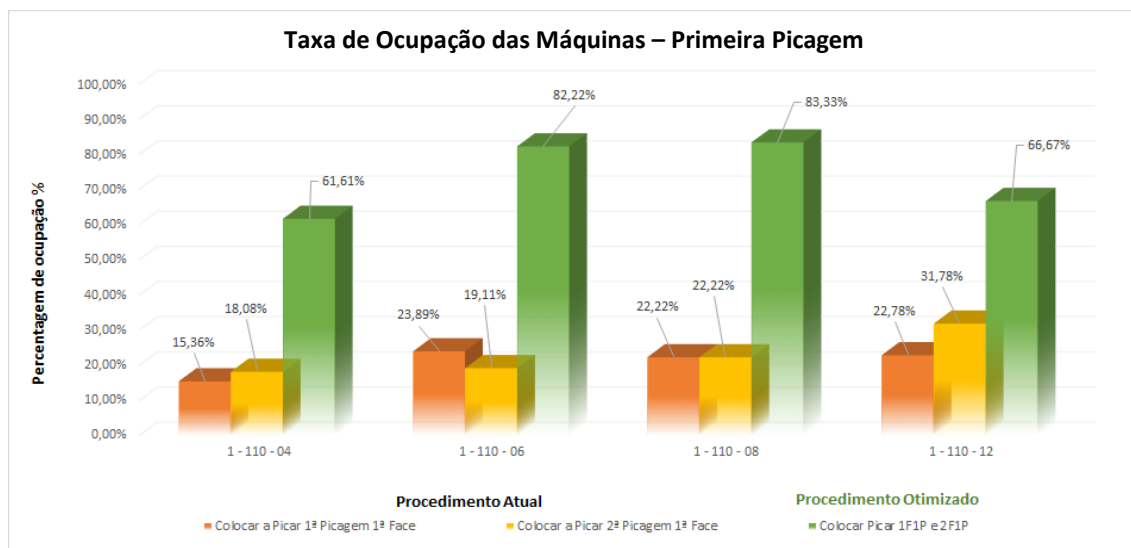


Figura 51 – Resultados da melhoria do procedimento da Primeira Picagem.

A figura 52 é relativa à representação gráfica dos valores referentes ao procedimento da segunda picagem da lima.

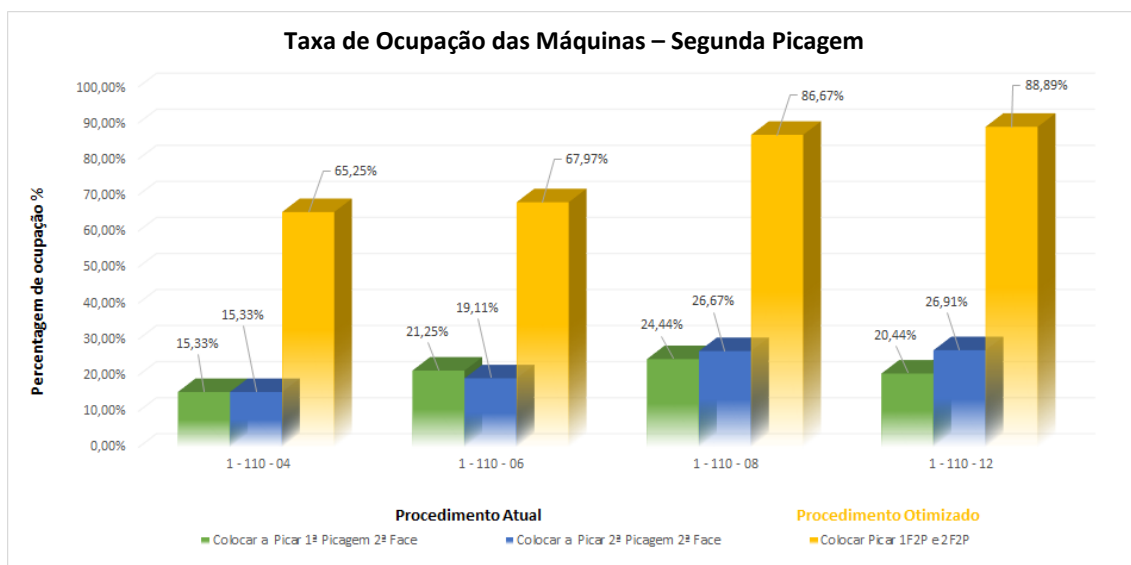


Figura 52 – Resultados da melhoria do procedimento da Segunda Picagem.

Os resultados verificados, evidenciam em conformidade com os casos analisados anteriormente, uma grande diferença na taxa de ocupação dos equipamentos, entre os procedimentos realizados no sistema de picagem atual e o procedimento realizado no sistema de picagem otimizado. Resumindo, o estudo da melhoria através do uso da simulação, traduz-se na obtenção de dados que permitem demonstrar um aumento da taxa de ocupação dos equipamentos, sendo que deste modo é possível obter um rendimento superior, assim como reduzir em três os procedimentos realizados pelo operador. A implementação é realizada sem custos adicionais, pois não existe a necessidade de interromper o funcionamento das células de produção.

#### 4.7 Avaliação do Impacto Económico na Melhoria das Células de Picagem

O desenvolvimento dos modelos de simulação apresentados neste capítulo contribuíram, para uma perceção mais objetiva sobre o desempenho das células de picagem. Assim, concluiu-se que o ganho da empresa não será apenas no aumento de unidades produzidas, mas também na diminuição do tempo necessário à produção do produto. Na tabela 33 é efetuada uma análise comparativa entre os tempos atuais de produção, para satisfazer as encomendas mensais e o tempo de produção quando se aplicam as propostas de melhoria, onde se observou um ganho de 59 horas (23%).

Tabela 33 – Quantidade de horas de operação durante um mês de produção.

Modelo de Lima	Tempo atual (h)	Tempo otimizado (h)	Tempo Ganho (h)
1 - 143 - 06 - 01	14	10	4
1 - 143 - 08 - 01	54	42	12
1 - 143 - 12 - 01	7	5	2
4 - 138 - 06 - 01	12	11	1
4 - 138 - 08 - 01	30	26	4
1 - 100 - 04 - 01	20	16	4
1 - 100 - 06 - 01	13	10	3
1 - 100 - 08 - 01	46	35	11
1 - 100 - 12 - 01	15	12	3
1 - 110 - 04 - 01	14	9	5
1 - 110 - 06 - 01	11	7	4
1 - 110 - 08 - 01	12	8	4
1 - 110 - 12 - 01	13	11	2
Total de horas =	261	203	59
% =	79,09	61,52	22,61

A empresa em análise labora em dois turnos durante cinco dias por semana, o que perfaz 75 horas semanais e 330 horas mensais. A diminuição do tempo total de produção representado na tabela 38 corresponderá a uma percentagem de aproximadamente 23% do tempo atual (real) de produção (ver figura 53).

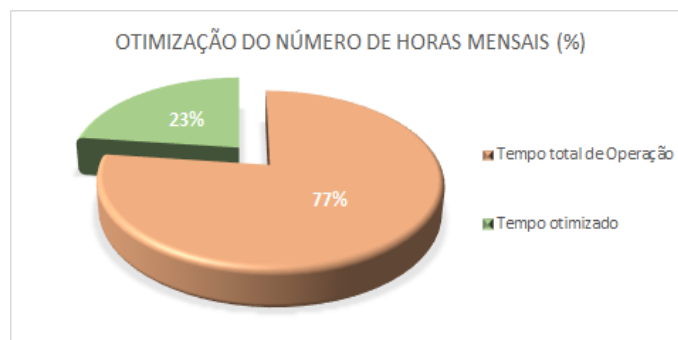


Figura 53 – Melhoria da quantidade de horas de operação mensais.

Na tabela 34 é efetuada uma análise comparativa (número de limas por hora) entre as quantidades produzidas no processo atual da empresa, e as quantidades produzidas quando se aplicam as propostas de melhoria. Conhecendo as necessidades de produção mensais para o sistema atual de cada modelo, e considerando as propostas de melhoria anteriores, é possível extrapolar os valores das quantidades mensais de unidades produzidas no processo otimizado.

Tabela 34 – Quantidade de unidades produzidas no processo atual e otimizado.

Modelo	Processo Atual Limas/h	Processo Otimizado Limas/h	Produção Atual Limas/mês	Produção Otimizada Limas/mês
1 - 143 - 06 - 01	92	123	1280	1711
1 - 143 - 08 - 01	94	119	5043	6385
1 - 143 - 12 - 01	69	87	445	561
4 - 138 - 06 - 01	92	102	1126	1248
4 - 138 - 08 - 01	94	108	2856	3282
1 - 100 - 04 - 01	99	127	1990	2553
1 - 100 - 06 - 01	91	122	1189	1594
1 - 100 - 08 - 01	82	107	3771	4921
1 - 100 - 12 - 01	84	103	1277	1565
1 - 110 - 04 - 01	91	136	1258	1879
1 - 110 - 06 - 01	84	126	890	1335
1 - 110 - 08 - 01	78	120	934	1437
1 - 110 - 12 - 01	80	100	1062	1327

De acordo com os dados da tabela 34, conclui-se que através das melhorias empregues, existe um aumento da quantidade de unidades produzidas em cada modelo analisado. A figura 54 compara a média da quantidade de limas produzidas por hora e mensais do processo atual, perante o processo otimizado.

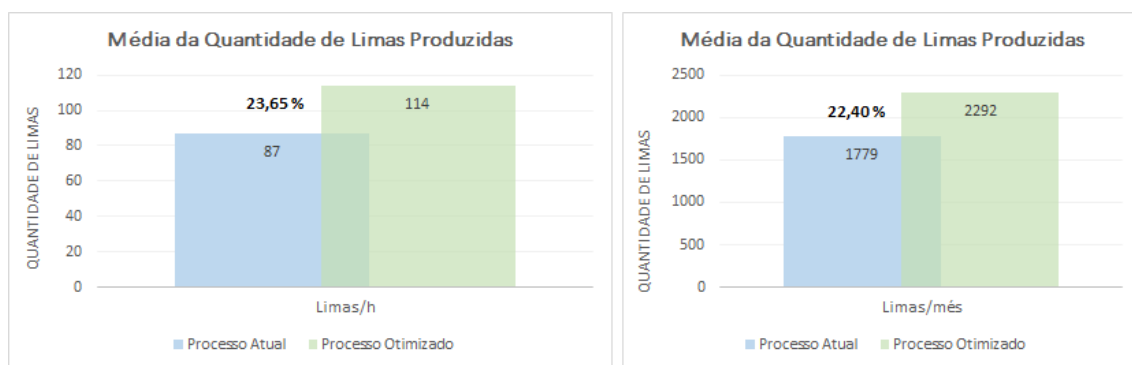


Figura 54 – Média de limas por hora e média de limas mensais.

Na tabela 35 apresenta-se o valor inicial a investir, de acordo com a quantidade de equipamentos necessários para cada um dos modelos analisados, assim como o tempo necessário para amortizar o investimento.

Tabela 35 – Análise económica – Investimento e amortização do investimento.

Modelos	Nº de Equipamentos	Investimento	Amortização / Meses	Amortização / Anos
1 - 143 - xx - 01	6	330 000,00 €	26	2,1
4 - 138 - xx - 01	3	165 000,00 €	43	3,6
1 - 100 - xx - 01	8	440 000,00 €	36	3
1 - 110 - xx - 01	12	660 000,00 €	31	2,6
Total do Investimento (€) =		990 000,00 €		

Efetuando o investimento nos modelos 1-143 e 1-110, permite à empresa produzir todos os modelos estudados e obter uma amortização mais célere do investimento inicial.

Seguidamente, prossegue-se com a análise do retorno obtido após a aquisição dos equipamentos, independentemente da estratégia adotada pela empresa, e a respetiva amortização. Considerando o preço de venda unitário de cada modelo de lima e os dados presentes na tabela 34 relativos às quantidades mensais de unidades produzidas no processo otimizado, obtém-se desta forma um retorno mensal total na ordem dos 34 000 € (ver figura 55).

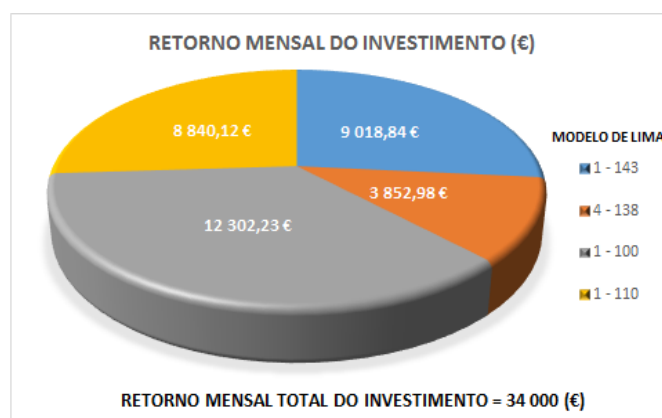


Figura 55 – Retorno mensal obtido após implementação das melhorias propostas.



Considerando que empresa SNA Europe decida implementar as melhorias propostas no estudo anterior, após a total amortização do investimento, o retorno mensal irá oscilar entre os 3 850 € e os 12 300 €. Considerando todos os modelos analisados, a empresa pode esperar um retorno mensal de aproximadamente 34 000 €.



#### 4.8 Avaliação de Desempenho das Células de Picagem

Atendendo que os modelos de simulação desenvolvidos, estão parametrizados para 60 minutos de duração, observa-se na tabela 36, o ganho em termos de quantidades de unidades produzidas e de tempo ganho em cada ciclo operatório, relativo a cada modelo de lima analisado anteriormente.

Tabela 36 – Resultados obtidos através da melhoria do ciclo de operação.

Picagem	Modelos de Limas	Ganho		Total (min)
		Quantidade	Tempo (s)	
 Simples	1 - 143 - xx - 01	75	33	13
	4 - 138 - xx - 01	24	9	2
 Dupla	1 - 100 - xx - 01	103	37	16
	1 - 110 - xx - 01	149	55	35

A figura 56 tem como objetivo identificar a quantidade de tempo resultante da melhoria, durante 60 minutos de duração (eixo dos yy), para cada modelo de lima (eixo dos xx). Deste modo pode-se observar, de uma forma sintetizada, o impacto que o estudo de simulação pode apresentar sobre a produção.

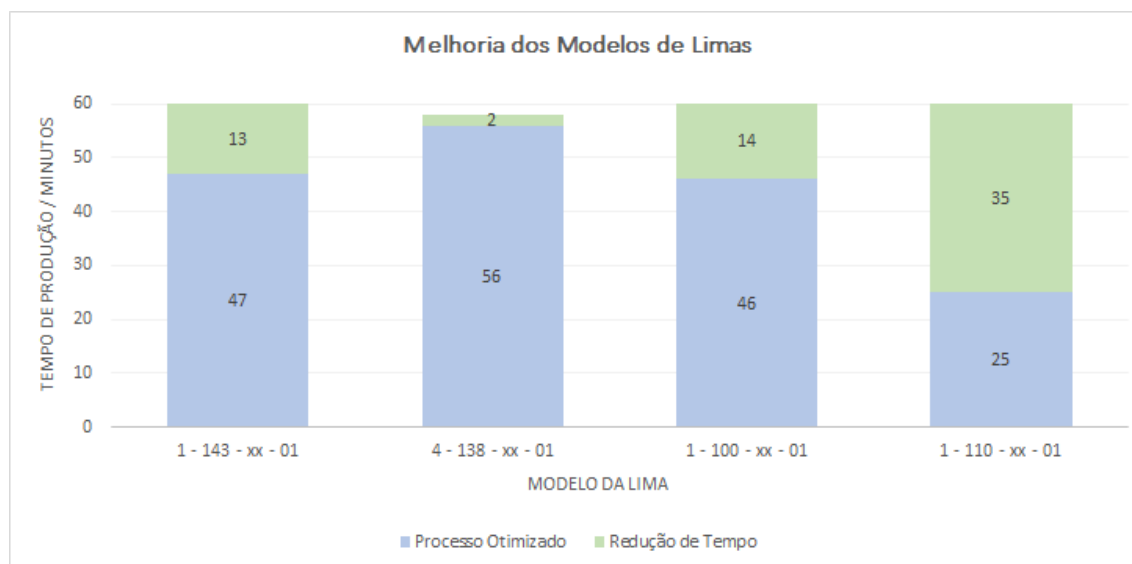


Figura 56 – Resultados obtidos no estudo de simulação e melhoria.

O impacto é mais acentuado no modelo 1-110-xx-01, resultado da redução dos seis procedimentos atuais, para três procedimentos, o que implica a substituição de seis máquinas de picagem atual, por três novas máquinas de picagem e rotação automática.

A figura 57 representa o estudo da comparação das unidades produzidas no sistema atual e as unidades produzidas no sistema resultante da melhoria. Pode-se confirmar que a evolução, na quantidade de unidades produzidas é bastante significativa.

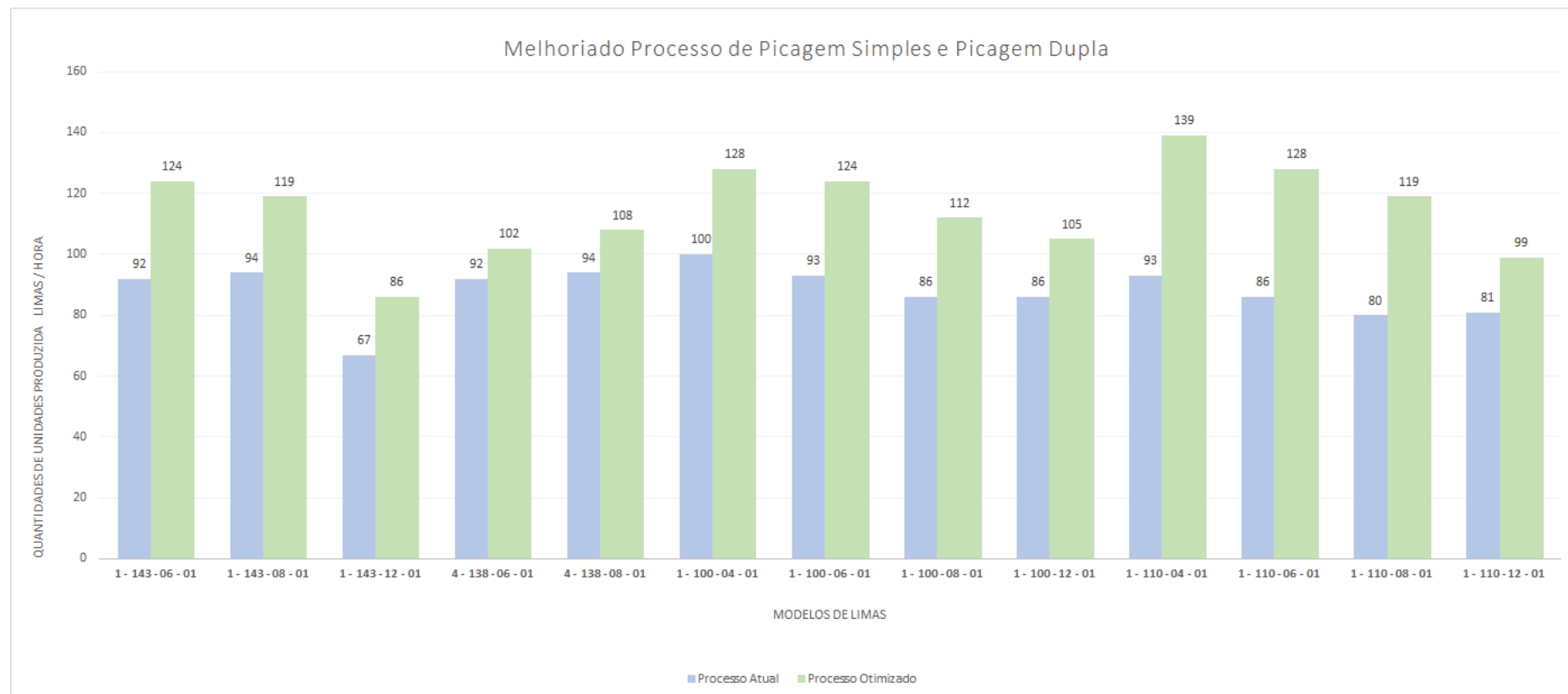


Figura 57 – Quantidades do processo atual e quantidades após melhoria.

A figura 58 representa o estudo da comparação da taxa média de ocupação das máquinas do sistema atual versus a taxa de ocupação das máquinas no sistema resultante da melhoria. A taxa média de ocupação do procedimento atual é de 25%, o que se revela muito inferior quando comparada como a taxa média de ocupação após a melhoria do processo, a qual é igual a 78%. Deste modo, conclui-se que o rendimento dos equipamentos obtido é muito superior.

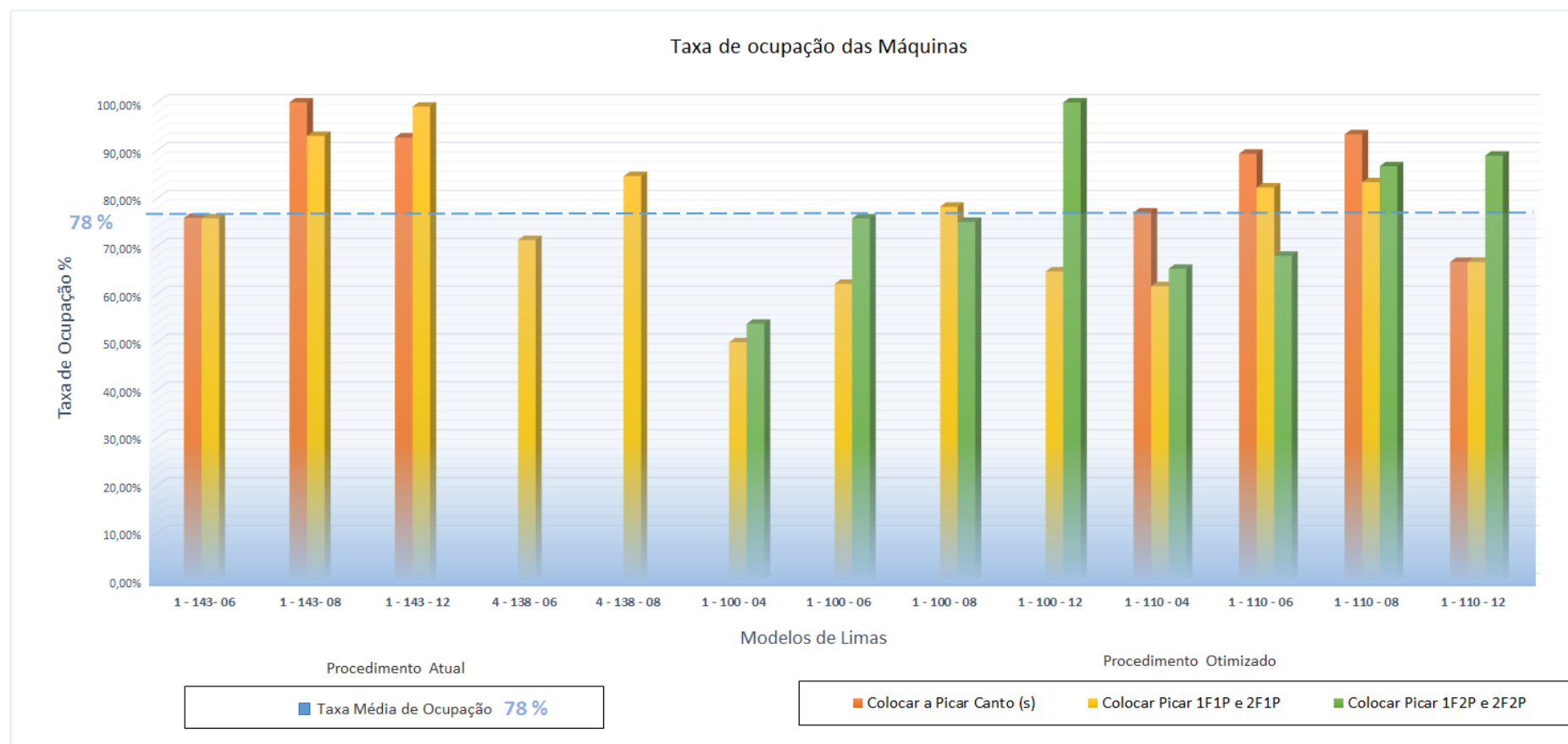


Figura 58 – Taxa de ocupação da Máquinas após a melhoria.

# **5. GERADOR AUTOMÁTICO DE MODELOS DE SIMULAÇÃO DE CÉLULAS DE PICAGEM DE LIMAS**

5.1 Introdução

5.2 Desenvolvimento do GAMS CPL

5.3 Sistema Proposto de Interface Gráfica com o Utilizador

5.4 Validação dos Modelos Resultantes do GAMS CPL

5.5 Análise de Resultados Através da utilização das Estratégias  
de Controlo

5.6 Avaliação de Desempenho das Estratégias de Controlo



## 5 Gerador Automático de Modelos de Simulação de Células de Picagem de Limas

### 5.1 Introdução

Neste capítulo é apresentada a aplicação informática GAMS CPL (Gerador Automático de Modelos de Simulação de Células de Picagem de Limas), que foi desenvolvida, visando a geração automática de modelos de simulação com diferentes estratégias de controlo, que podem ser aplicadas na melhoria das células de picagem de limas na empresa SNA Europe. Desconhecendo inicialmente qual a melhor estratégia a seguir de modo a otimizar o processo produtivo, pretende-se que o sistema de apoio à decisão proporcione informação que possa auxiliar os utilizadores desta ferramenta na seleção da melhor solução, tendo em conta os seus objetivos. Para tal, serão retratados diferentes cenários, com recurso à seleção de diferentes estratégias de controlo.

### 5.2 Desenvolvimento do GAMS CPL

O desenvolvimento do GAMS CPL tem início na identificação das propriedades que o programa deve possuir, de modo a que a sua utilização auxilie o estudo de melhoria do processo produtivo. Utilizando inicialmente a técnica de *brainstorming*, de modo a juntar informação, testar e explorar cenários, desenvolveu-se o fluxograma da figura 59.

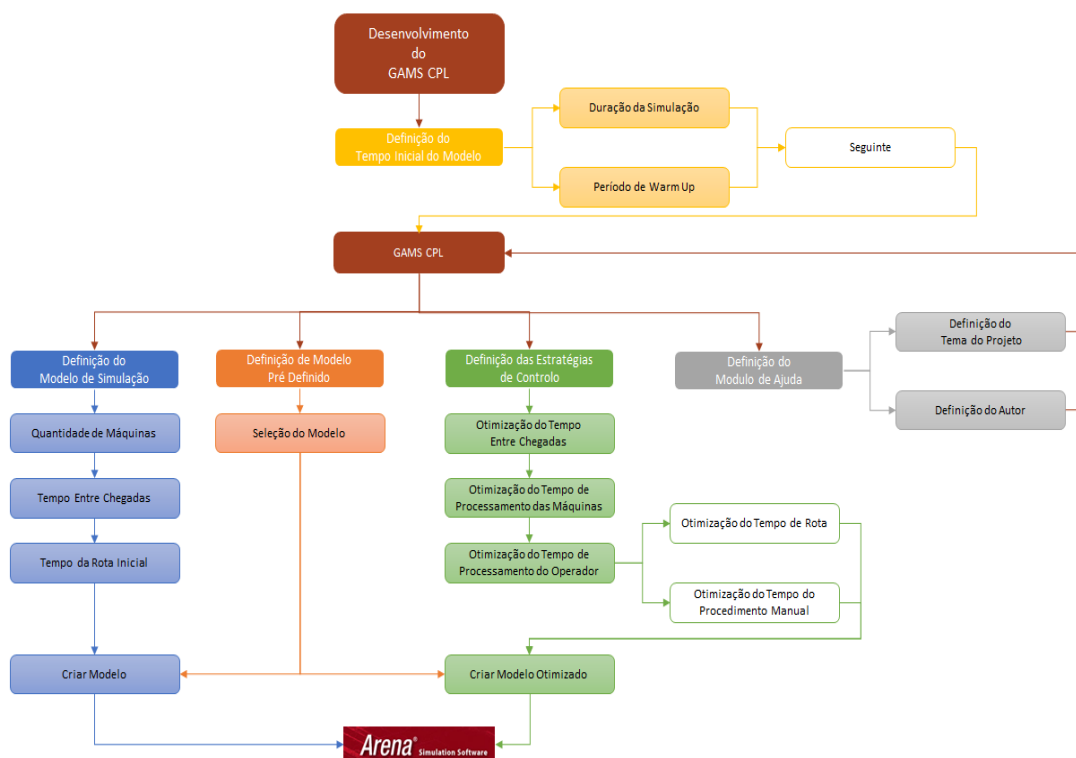


Figura 59 – Fluxograma do funcionamento interno do GAMS CPL.

A tabela 37 identifica e descreve os módulos essenciais para o funcionamento da ferramenta de apoio à decisão GAMS CPL.

Tabela 37 – Módulos da ferramenta de apoio à decisão GAMS CPL.

Módulo	Descrição do Módulo
Módulo 1 (Definição do Tempo Inicial do Modelo)	<i>Definition of the inicial model time</i> - Este módulo possui dois parâmetros cujo valor deve ser inserido. Os parâmetros são relativos ao tempo de duração da simulação, em segundos, e o período de <i>warm up</i> em segundos.
Módulo 2 (Definição da Barra de Ferramentas)	<i>Help</i> - Este módulo é utilizado como módulo de ajuda ao utilizador. Possui uma interface com a definição do Tema do Projeto e uma interface com as definições do Autor.
Módulo 3 (Configuração do Modelo de Simulação)	<p><i>General model definitions</i> - Este módulo é utilizado no desenvolvimento de um modelo de simulação e possui três parâmetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Number of machines</i> – Inserir o número de máquinas.</li> <li>▪ <i>Time between arrival</i> – Na <i>table of model values</i>, deve inserir os valores relativos ao <i>route time</i>, <i>manual process</i> e <i>automatic process</i>. No final seleccionar a opção <i>upload table values</i>.</li> <li>▪ Tempo do <i>route</i> inicial - Inserir tempo de rota inicial.</li> <li>▪ <i>Load pre defined model</i> – Seleccionar um modelo pré definido.</li> </ul> <p>Após a parametrização deve seleccionar a opção <i>create model</i>, a qual dará início à criação do modelo.</p>
Módulo 4 (Seleção do Modelo Base)	<i>Load pre defined model</i> - Este módulo é utilizado para seleccionar um modelo base. O modelo base contém as variáveis relativas ao <i>Simulation Time</i> e <i>Warm Up Time</i> , contém uma interface relacionada com a quarta estratégia de controlo, a qual diz respeito à capacidade das máquinas, e uma <i>interface</i> final relacionada com a análise de desempenho do modelo.
Módulo 5 (Estratégias de Controlo)	<p><i>Control Strategies</i> - Existem quatro estratégias de controlo que podem ser utilizadas individualmente ou em grupo, dependendo da melhoria que o utilizador pretender estudar. As estratégias de controlo são:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Optimization of the time between arrivals</i>.</li> <li>▪ <i>Optimization of the machines processing time</i>.</li> <li>▪ <i>Optimization of the operator processing time (route and manual process)</i>.</li> <li>▪ <i>Machines capacity</i>.</li> </ul>

### 5.3 Sistema Proposto de Interface Gráfica com o Utilizador

A interface gráfica com o utilizador tem como objetivo permitir a interação do programa *Arena Simulation* com os elementos gráficos desenvolvidos no programa VBA (*Visual Basic for Applications*). A ferramenta informática GAMS CPL permite a definição das características dos elementos que irão compor o sistema produtivo. O ambiente gráfico foi desenvolvido de forma a tornar mais acessível a utilização da ferramenta GAMS CPL, a qual faz a interligação entre o utilizador e o simulador, apoiando-o na parametrização de todas as definições necessárias ao modelo de simulação, na criação de novos cenários de teste, na escolha de estratégias de controlo a aplicar e na obtenção e análise de resultados.

#### 5.3.1 Módulo 1 – Definição do Tempo Inicial do Modelo

O desenvolvimento do GAMS CPL tem início na elaboração da interface que define o tempo inicial do modelo (ver figura 60).



Figura 60 – GAMS CPL - Tempo Inicial do modelo.

A interface foi desenvolvida de modo a que o utilizador tenha a possibilidade de configurar o tempo inicial do modelo. Na opção 1 o utilizador pode inserir o tempo de duração da simulação em segundos e na opção 2 pode inserir o período de *warm up* em segundos. O *warm up* time está relacionado com o tempo necessário para alcançar um estado estacionário. Após a introdução dos valores, o utilizador seleciona a opção “Setup Model”, de modo a iniciar a configuração do modelo de simulação.



### 5.3.2 Módulo Principal do GAMS CPL

Selecionada a opção *Setup Model* surge a interface geral do GAMS CPL (ver figura 61). Esta interface permite ao utilizador configurar um gerador de modelos de simulação de acordo com um conjunto de parâmetros definidos, ou gerar modelos de simulação por forma a otimizar o processo produtivo, de acordo com um conjunto de estratégias de controlo definidos.

The screenshot displays the GAMS CPL interface, which is divided into several sections for configuring simulation models and optimization strategies.

**1 - General Model Definitions**

- 1 - Number of Machines:  (Units)
- 2 - Time Between Arrivals (Constant):  (Sec.)  
Upload Table values
- 3 - Time of the Initial Route:  (Sec.)
- 4 - Load Pre Defined Model(s): Pre Defined Model
- 5 - Create GAMS CPL Model: Create Model

**Table of Model Values**

	Route Time (Sec)	Manual Process Time (Sec)	Automatic Process Time (Sec)
Máquina 1	2	6	10
Máquina 2	2	6	10

**2 - Control Strategies**

- 1 - Optimization of the Time Between Arrivals:  (Sec.)  
Upload Table values  
Opt  (%)  
1 - Optimize Values
- 2 - Optimization of the Processing Time of the Machines:  (Sec.)  
Upload Table values  
Opt  (%)  
2 - Optimize Values
- 3 - Optimization of the Operator Processing Times:
  - Route Time:  (Sec.)  
Opt  (%)
  - Manual Time:  (Sec.)  
Opt  (%)
  - Upload Table values
  - 3 - Optimize Values
- Create Optimized Model: Create Optimized Model
- Reset Cell Values: Reset

Navigation buttons: <- Back, Exit

Figura 61 – Interface geral do GAMS CPL.

### 5.3.3 Módulo 2 – Definição da Barra de Ferramentas

Considerando a interface GAMS CPL, pode-se analisar em primeiro lugar a barra de ferramentas (figura 62), com as respetivas opções.

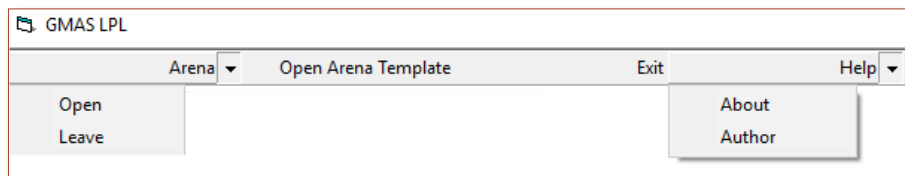


Figura 62 – GAMS CPL - Barra de ferramentas.

A barra de ferramentas contém quatro opções, sendo elas: Arena (O menu Arena acede a duas opções, a primeira *Open*, a qual inicia o programa Arena e a segunda *Leave* a qual fecha a aplicação do Arena); *Open Arena Template* (permite iniciar o programa Arena com acesso ao *template* inicial); *Exit* (permite fechar o Programa); *Help* (permite aceder à opção *Author*, a qual permite visualizar as informações do autor do projeto e a opção *About*, que permite visualizar a definição do Tema do Projeto (ver figura 63).



Figura 63 – GAMS CPL - Barra de Ferramentas menu *Help*, opção *Author* e opção *About*.

### 5.3.4 Módulo 3 - Configuração do Modelo de Simulação

Após a definição do tempo total da simulação e do período de *warm up*, o utilizador seleciona a opção *Setup Model*, surgindo o *template* principal do programa.

	Route Time (Sec)	Manual Process Time (Sec)	Automatic Process Time (Sec)
Máquina 1	2	6	10
Máquina 2	2	6	10

Figura 64 – GAMS CPL - Configuração do modelo de simulação.

A figura 64 ilustra o modelo da interface inicial do programa GAMS CPL. Este menu permite ao utilizador configurar um modelo de simulação, definindo os parâmetros físicos do modelo, inserindo o número de máquinas pretendido. Após a introdução do número de máquinas, o utilizador deve inserir o tempo entre chegadas. Após a introdução do número de máquinas, a tabela referida como *Table of Model Values* ajusta-se automaticamente a este valor. O utilizador deve preencher os parâmetros correspondentes ao *Route Time*, *Manual Process Time* e *Automatic Process Time*. O programa possui uma opção denominada por *Upload Table Values*, a qual insere automaticamente este valor, recorrendo à definição do tempo de rota (*Route Time*) e o tempo de procedimento manual (*Manual Process Time*), que se encontram na tabela (*Table of Model Values*). O próximo parâmetro a ser inserido é referente ao tempo de rota inicial (*Initial Route Time*). Foi selecionado o modelo de lima 1-143-06-01, de modo a exibir a introdução dos valores referentes à configuração dos parâmetros. Selecionando a opção 5 *Create Model*, será automaticamente criado no *software* Arena o modelo de simulação (ver figura 65).

**1 - General Model Definitions**

1 - Number of Machines: 7 (Units)

2 - Time Between Arrivals (Constant): 39 (Sec.)

3 - Time of the Initial Route: 1 (Sec.)

4 - Load Pre Defined Model(s): Pre Defined Model

5 - Create GAMS CPL Model: Create Model

**Table of Model Values**

	Route Time (Sec)	Manual Process Time (Sec)	Automatic Process Time (Sec)
Máquina 1	2	2	7
Máquina 2	2	2	8
Máquina 3	3	7	30
Máquina 4	4	3	6
Máquina 5	4	2	6
Máquina 6	3	2	0
Máquina 7	1	1	0

<- Back

Figura 65 – GAMS CPL - Configuração do modelo de simulação da lima 1-143-06-01.

### 5.3.5 Módulo 4 - Seleção do Modelo Base

O próximo parâmetro é referente à seleção do modelo base (ver figura 66), isto é, o utilizador deve selecionar o modelo *base.doe* previamente criado, o qual contém as variáveis relativas ao *Simulation Time* e *Warm Up Time*, assim como uma interface relacionada com a quarta estratégia de controlo, a qual diz respeito à capacidade das máquinas, e uma interface final relacionada com a análise de desempenho do modelo.

**Form\_File\_Explorer**

**SNA Europe**

**File Explorer**

c:

C:\  
Users  
hugoa  
Desktop  
Nova pasta 6  
WBBA 3  
Modelo Arena

Model Base Backup.doe  
Model Base.doe  
Model Opt Backup.doe  
Model Opt.doe

C:\Users\Hugoa\Desktop\Nova pasta 6\WBBA 3\Mod

New Model

<- Back Exit

Figura 66 – GAMS CPL – Seleção do modelo base.

Após a definição de todos os parâmetros necessários à criação do modelo de simulação, seleciona-se a opção *Create Model*. O modelo de simulação será automaticamente criado no *software* Arena. Pode-se visualizar na figura 67 o modelo criado, assim como as variáveis referentes ao tempo de simulação, tempo de *Warm Up*, número de limas produzidas e o modelo de animação com as sete máquinas representadas.

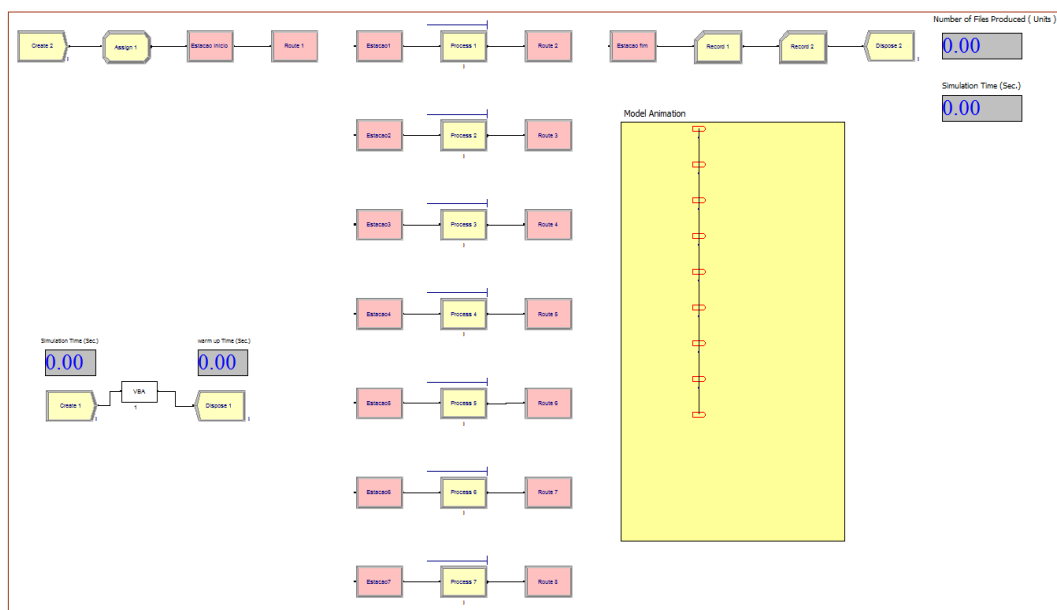


Figura 67 – GAMS CPL - Modelo de simulação da lima 1-143-06-01.

Iniciando o modelo de simulação surge, a opção da quarta estratégia de controlo (ver figura 68), a qual diz respeito à capacidade das máquinas.

Insert the Capacity of the Machines	
Máquina 1	1
Máquina 2	1
Máquina 3	4
Máquina 4	1
Máquina 5	1
Máquina 6	1
Máquina 7	1

Figura 68 – GAMS CPL – Estratégia de controlo, capacidade das máquinas.

Selecione a opção *OK*, inicia-se a simulação do modelo e, como se pode visualizar na figura 69, o resultado referente à quantidade de limas é igual a 92 unidades, exatamente o mesmo valor obtido na análise do modelo da lima 1-143-06-01 realizado no capítulo 4, na secção 4.3.1.

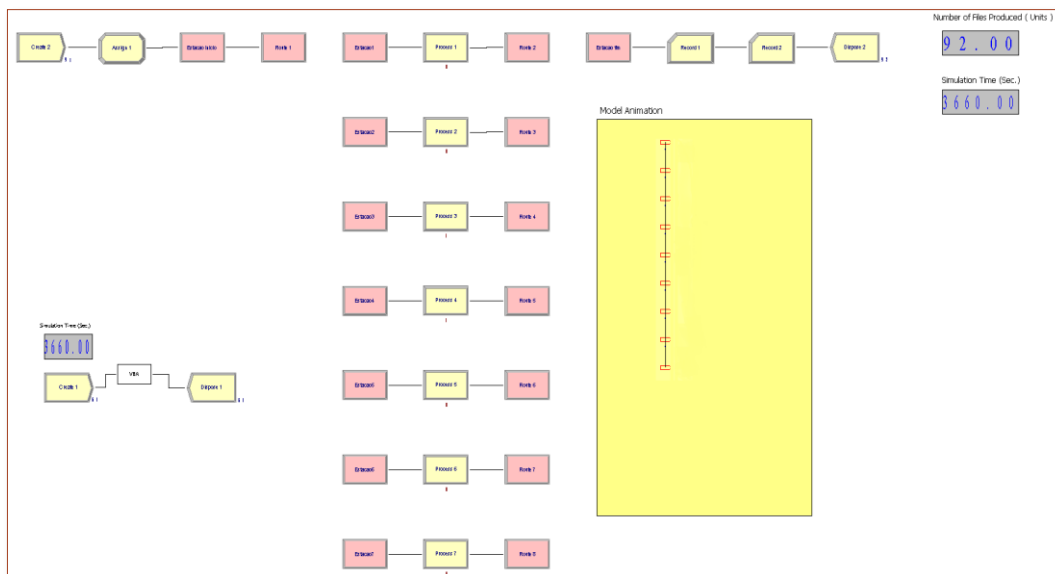


Figura 69 – GAMS CPL - Resultado do modelo de simulação da lima 1-143-06-01.

Finalmente, quando selecionada a opção de parar a simulação surge, a última interface, relacionada com a análise de desempenho do modelo anterior (ver figura 70).

The screenshot shows the 'SNA Europe' logo at the top left. The main title is 'Model Performance Analysis'. Below this, there are two sections: 'Model input parameters' and 'Results'. The 'Model input parameters' section contains fields for 'Simulation Time (effective)' (3660,00), 'Simulation Time (selected)' (3660), 'Date' (7/14/2017), 'Analyser Name' (Rockwell Automation), and 'Project Name' (SNA\_Europe). The 'Results' section contains fields for 'Number of Produced Files' (92), 'Average Time of the Files in the System' (96,0000), 'Maximum Time of the Files in the System' (96,0000), and 'Minimum Time of the Files in the system' (96,0000). An 'Exit' button is located at the bottom left. The 'isep Instituto Superior de Engenharia do Porto' logo is at the bottom right.

Figura 70 – GAMS CPL - Análise de desempenho do modelo da lima 1-143-06-01.

O objetivo da aplicação informática desenvolvida passa por proporcionar ao utilizador diferentes soluções de melhoria da produção, através da aplicação das estratégias de controlo. De igual modo, considerou-se o interesse de integrar no ambiente de simulação um gerador automático de análise de desempenho, no qual se apresenta a informação sobre determinados indicadores de desempenho dos modelos simulados. De entre os indicadores de desempenho que foram considerados, destacam-se:

- Tempo de simulação efetivo;
- Tempo de simulação selecionado;
- Quantidade de limas produzidas;
- Tempo médio de permanência das limas no sistema;
- Tempo mínimo e tempo máximo das limas no sistema.

### 5.3.6 Módulo 5 – Estratégias de Controlo

O desenvolvimento de um gerador automático de modelos de simulação tem como objetivo otimizar o processo produtivo, de acordo com um conjunto de estratégias de controlo definidos. No processo de picagem, existem quatro fatores que podem interferir no rendimento da produtividade da célula de picagem. De modo a iniciar a melhoria utilizando as estratégias de controlo, o utilizador tem a possibilidade de transferir automaticamente os dados utilizados na criação do primeiro modelo. Sendo que, desta forma não desperdiça tempo ao preencher a tabela com os parâmetros necessários. A interface das estratégias de controlo e a opção de transferir os dados (seta a verde) encontra-se representada na figura 71.

**Table of Model Values**

	Route Time (Sec)	Manual Process Time (Sec)	Automatic Process Time (Sec)
Máquina 1	2	6	10
Máquina 2	2	6	10
Máquina 3	2	6	10
Máquina 4	2	6	10
Máquina 5	2	6	10
Máquina 6	2	6	10
Máquina 7	2	6	10

**Transferir valores**

	Opt.Route Time (Sec)	Opt.Manual Process Time (Sec)	Opt.Automatic Process Time (Sec)
Máquina 1	2	6	10
Máquina 2	2	6	10
Máquina 3	2	6	10
Máquina 4	2	6	10
Máquina 5	2	6	10
Máquina 6	2	6	10
Máquina 7	2	6	10

**2 - Control Strategies**

1 - Optimization of the Time Between Arrivals

0 (Sec.)

Upload Table values

Opt 0 (%)

1 - Optimize Values

2 - Optimization of the Processing Time of the Machines

0 (Sec.)

Upload Table values

Opt 0 (%)

2 - Optimize Values

3 - Optimization of the Operator Processing Times

Route Time: 0 (Sec.)

Manual Time: 0 (Sec.)

Opt 0 (%)

Opt 0 (%)

Upload Table values

3 - Optimize Values

Create Optimized Model

Create Optimized Model

Reset Cell Values

Reset

Figura 71 – GAMS CPL - Interface Animada das Estratégias de Controlo.

Deste modo, foram definidas quatro estratégias de controlo, as quais podem ser utilizadas individualmente ou em grupo, dependendo da melhoria que o utilizador pretender estudar. De seguida, encontram-se representadas na figura 72 as quatro estratégias de controlo implementadas.

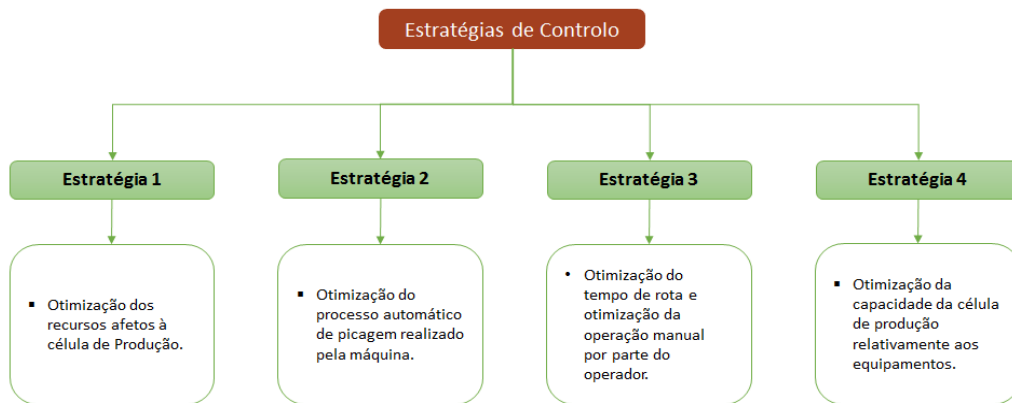


Figura 72 – GAMS CPL - Estratégias de Controlo.

Como foi descrito anteriormente, o utilizador pode decidir utilizar uma série de combinações entre as estratégias de controlo, de modo a obter o melhor rendimento possível. O fluxograma da figura 73 permite visualizar o fluxo de informação referente às opções de seleção das estratégias pelo utilizador.

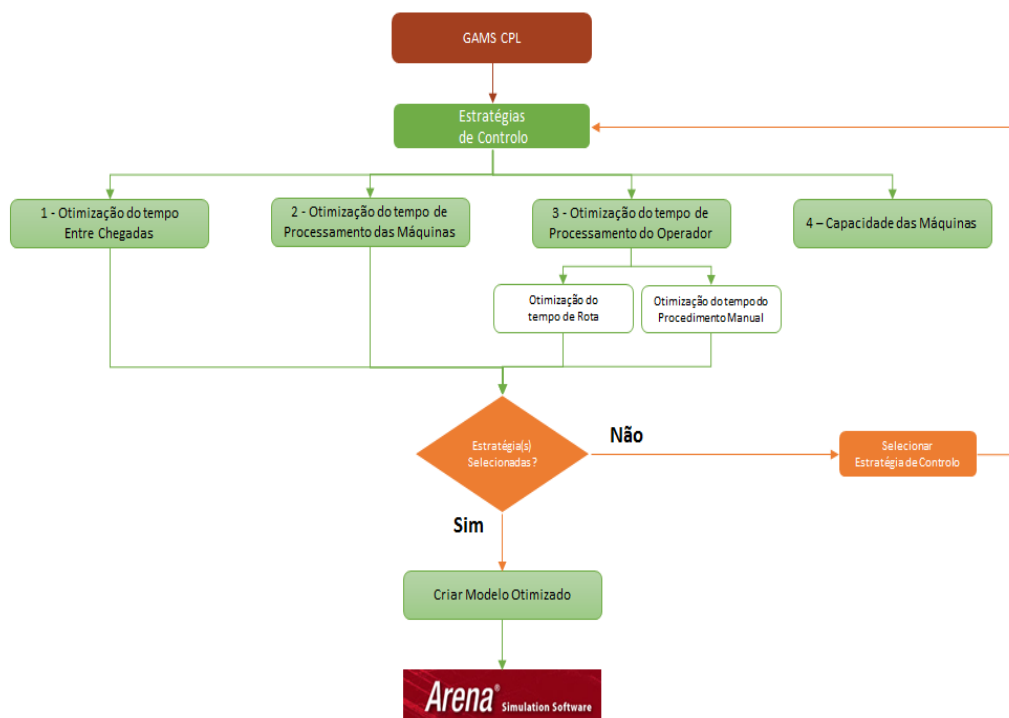


Figura 73 – Fluxo de Informação referente à seleção das estratégias de controlo.



### 5.3.6.1 Estratégia 1 - Melhoria do Tempo Entre Chegadas

A primeira estratégia de controlo (ver figura 74) está relacionada com o tempo entre chegadas, ou o tempo de ciclo da célula de produção, isto é, o tempo que demora a completar todos os procedimentos referentes ao processo de picagem da lima. A melhoria desta estratégia de controlo procura demonstrar até que ponto a afetação de um ou mais operadores à célula de produção irá influenciar na quantidade de unidades produzidas.

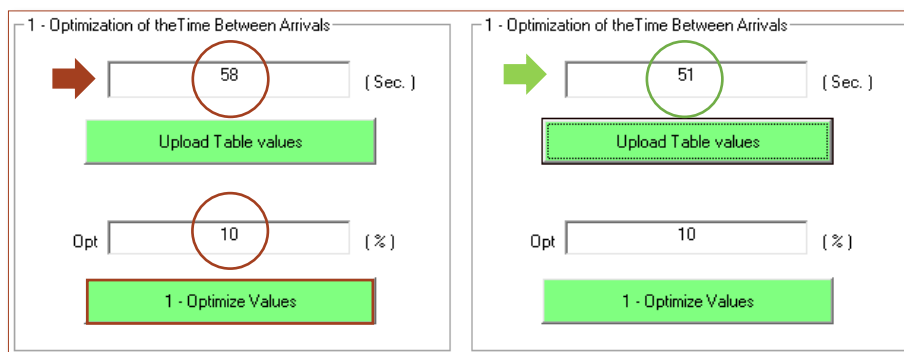


Figura 74 – Estratégia de controlo 1: Melhoria do Tempo entre Chegadas.

O utilizador pode inserir um determinado valor (em segundos) ou utilizar a opção de transferir os valores da tabela (melhoria do tempo de Rota mais a melhoria do tempo do procedimento manual). Na figura 74 é possível visualizar o exemplo de uma otimização de 10%.

### 5.3.6.2 Estratégia 2 - Melhoria do Tempo de Processamento das Máquinas

A segunda estratégia de controlo (ver figura 75) está relacionada com a melhoria do tempo de processamento das máquinas, ou seja, a duração do processo automático de picagem realizado pela máquina. A melhoria desta estratégia de controlo procura demonstrar até que ponto a diminuição do tempo do processo automático irá influenciar na quantidade de unidades produzidas.

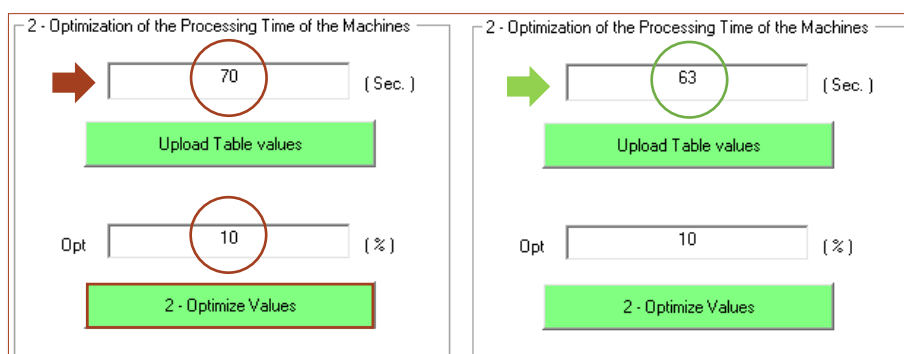


Figura 75 – Estratégia de controlo 2: Capacidade das máquinas.

O utilizador pode inserir um determinado valor (em segundos) ou utilizar a opção de transferir os valores da tabela (melhoria do tempo de processo automático). Na figura 75 é possível visualizar o exemplo de uma otimização de 10%.

### 5.3.6.3 Estratégia 3 - Melhoria do tempo de Processamento do Operador, Tempo de Rota e Tempo do Procedimento Manual

A terceira estratégia de controlo (ver figura 76) está relacionada com a melhoria do tempo de processamento do operador e pode ser realizada de forma independente (melhoria do tempo de rota ou melhoria do tempo do procedimento manual). Na figura 76 é possível visualizar o exemplo de uma otimização de 10% aplicada ao *Route Time*.

Figura 76 – Estratégia de controlo 3: Melhoria do tempo de rota.

A terceira estratégia pode ser aplicada de forma combinada (melhoria do tempo de rota mais a melhoria do tempo do procedimento manual). Na figura 77 é possível visualizar o exemplo de uma otimização de 10%, aplicada ao *Route time* e ao *Manual Time*.

Figura 77 – Estratégia de controlo 3: Melhoria de Rota / operação manual.

A melhoria desta estratégia de controlo (ver figura 77), procura demonstrar até que ponto a diminuição do tempo de rota (tempo de deslocação entre procedimentos) e/ou a diminuição do tempo de realização do processo manual por parte do operador, poderá influenciar na quantidade de unidades produzidas. O utilizador pode inserir um determinado valor (em segundos) ou utilizar a opção de transferir os valores da tabela (Tempo de Rota e/ou Tempo Manual).

#### 5.3.6.4 Estratégia 4 - Melhoria da capacidade da célula de produção

A quarta estratégia de controlo (ver figura 78) está relacionada com a capacidade das máquinas, isto é, quando se dá início à simulação, deve aparecer uma interface onde o utilizador pode configurar a capacidade alocada a cada procedimento, para o caso de o utilizador pretender testar a possibilidade de utilizar mais do que uma máquina na realização de um determinado procedimento, de modo a verificar o impacto, na quantidade de unidades produzidas.

**Capacity of the Machines**

**SNA Europe**

**4 - Control Strategies Capacity of the Machines**

Insert the Capacity of the Machines

Máquina 1	1
Máquina 2	1
Máquina 3	4
Máquina 4	1
Máquina 5	1
Máquina 6	1
Máquina 7	1

OK

**isep** Instituto Superior de Engenharia do Porto

Figura 78 – Estratégia de controlo 4: Capacidade das máquinas.

Após definida a estratégia de controlo a simular, o utilizador seleciona a opção *Create Optimized Model* (ver figura 79), de modo a iniciar a criação automática do modelo se simulação.

**Table of Model Values**

	Route Time (Sec)	Manual Process Time (Sec)	Automatic Process Time (Sec)
Máquina 1	2	6	10
Máquina 2	2	6	10
Máquina 3	2	6	10
Máquina 4	2	6	10
Máquina 5	2	6	10
Máquina 6	2	6	10
Máquina 7	2	6	10

**2 - Control Strategies**

1 - Optimization of the Time Between Arrivals

Route Time (Sec): 0

Opt: 0 (%)

Upload Table values

1 - Optimize Values

2 - Optimization of the Processing Time of the Machines

Route Time (Sec): 0

Opt: 0 (%)

Upload Table values

2 - Optimize Values

3 - Optimization of the Operator Processing Times

Route Time (Sec): 0

Opt: 0 (%)

Manual Time (Sec): 0

Opt: 0 (%)

Upload Table values

3 - Optimize Values

**Create Optimized Model**

Create Optimized Model

Reset Cell Values

Reset

Figura 79 – Opção de criar o modelo otimizado.

## 5.4 Validação dos Modelos Resultantes do GAMS CPL

Após a obtenção dos valores provenientes da criação dos modelos de simulação através do GAMS CPL, prosseguiu-se com o estudo da validação de cada um dos modelos. As tabelas 38 e 39 indicam o resultado da quantidade de unidades provenientes do processo atual da empresa, e os resultados obtidos através da criação de modelos de simulação utilizando o GAMS CPL. Desta forma pretende-se validar os resultados do programa GAMS CPL, comparando-os com os resultados obtidos na análise do processo atual. A tabela 38 indica as quantidades de unidades do processo atual, relativas aos modelos de picagem simples.

Tabela 38 – Quantidade de unidades no processo real e no GAMS CPL.

Picagem	Dimensão	Modelo	Modelo Real	GAMS CPL
	(in)	Lima Chata	Limas/hora	Limas/hora
Simples	6	1 - 143 - 06 - 01	92	92
Simples	8	1 - 143 - 08 - 01	95	94
Simples	12	1 - 143 - 12 - 01	67	67
Simples	6	4 - 138 - 06 - 01	92	92
Simples	8	4 - 138 - 08 - 01	95	94

A tabela 39 indica as quantidades de unidades do processo atual, relativas aos modelos de picagem Dupla.

Tabela 39 – Quantidade de unidades no processo real e no GAMS CPL.

Picagem	Dimensão	Modelo	Modelo Real	GAMS CPL
	(in)	Lima Chata	Limas/hora	Limas/hora
Dupla	4	1 - 100 - 04 - 01	100	100
Dupla	6	1 - 100 - 06 - 01	94	93
Dupla	8	1 - 100 - 08 - 01	87	86
Dupla	12	1 - 100 - 12 - 01	86	86
Dupla	4	1 - 110 - 04 - 01	92	93
Dupla	6	1 - 110 - 06 - 01	87	86
Dupla	8	1 - 110 - 08 - 01	80	80
Dupla	12	1 - 110 - 12 - 01	82	81

Analisando a tabela 39, conclui-se que a variabilidade entre os valores do processo atual e os valores resultantes da simulação é mínima, com uma percentagem de erro inferior a 1%. Deste modo, conclui-se que os modelos de simulação desenvolvidos são válidos, correspondendo a uma representação correta da realidade, sendo possível utilizá-los para a tomada de decisões.

## 5.5 Análise de Resultados Através da utilização das Estratégias de Controlo


O próximo estudo pretende demonstrar o impacto da utilização de cada uma das estratégias de controlo na produção. Na tabela 40 encontra-se representada uma matriz de correlação entre as diferentes estratégias. O utilizador pode selecionar apenas uma, ou um conjunto de estratégias, por forma a otimizar a produção.

Tabela 40 – Correlação entre as estratégias de controlo.

Estratégias	Estratégia 1	Estratégia 2	Estratégia 3	Estratégia 4
Estratégia 1		Estratégia 1; 2	Estratégia 1; 3	Estratégia 1; 4
Estratégia 2	Estratégia 2; 1		Estratégia 2; 3	
Estratégia 3	Estratégia 3; 1	Estratégia 3; 2		Estratégia 3; 4
Estratégia 4	Estratégia 4; 1		Estratégia 4; 3	

De entre os modelos de limas estudados no presente trabalho, foi selecionado o modelo 1-143-06-01, por forma a exemplificar a utilização das estratégias. (Consultar Anexo C, tabela 46 com a informação referente ao modelo 1-143-06-01). Foi selecionado apenas um dos modelos de lima (ver tabela 41), pois o objetivo é exemplificar a utilização das estratégias de controlo e não incorrer na replicação de modelos, o que não seria uma mais-valia para o objetivo a demonstrar.

Tabela 41 – Resultado do modelo de simulação.

Resultados do Modelo de Simulação			
Picagem	Dimensão (in)	Modelo	Quantidade (uni)
 Simples	6	1 - 143 - 06 - 01	92

O estudo inicia-se com a identificação dos parâmetros necessários e com a introdução dos respetivos dados na tabela correspondente, como se pode verificar na figura 80.

Table of Model Values

	Route Time (Sec)	Manual Process Time (Sec)	Automatic Process Time (Sec)
Máquina 1	2	6	10
Máquina 2	2	6	10
Máquina 3	2	6	10
Máquina 4	2	6	10
Máquina 5	2	6	10
Máquina 6	2	6	10
Máquina 7	2	6	10

Opt Route Time (Sec)   Opt Manual Process Time (Sec)   Opt Automatic Process Time (Sec)

Máquina 1	2	6	10
Máquina 2	2	6	10
Máquina 3	2	6	10
Máquina 4	2	6	10
Máquina 5	2	6	10
Máquina 6	2	6	10
Máquina 7	2	6	10

2 - Control Strategies

1 - Optimization of the Time Between Arrivals

0 (Sec)

Upload Table values

Opt 0 (%)

1 - Optimize Values

	Opt.Route Time (Sec)	Opt.Manual Process Time (Sec)	Opt.Automatic Process Time (Sec)
Máquina 1	2	2	7
Máquina 2	2	2	8
Máquina 3	3	7	30
Máquina 4	4	3	6
Máquina 5	4	2	6
Máquina 6	3	2	0
Máquina 7	1	1	0

Figura 80 – Valores referentes aos parâmetros do modelo 1- 143 - 06 - 01.

### 5.5.1 Estratégia 1 - Tempo Entre Chegadas.

Após a introdução dos respetivos parâmetros, o utilizador seleciona a estratégia ou estratégias assim como a percentagem de otimização que pretende analisar. Os resultados seguintes são fruto do estudo do modelo de lima 1 – 143 - 06, e demonstram o impacto de cada uma das estratégias na quantidade de unidades produzidas versus a percentagem de melhoria necessária. De seguida, procede-se ao estudo sobre o impacto da primeira estratégia de controlo.

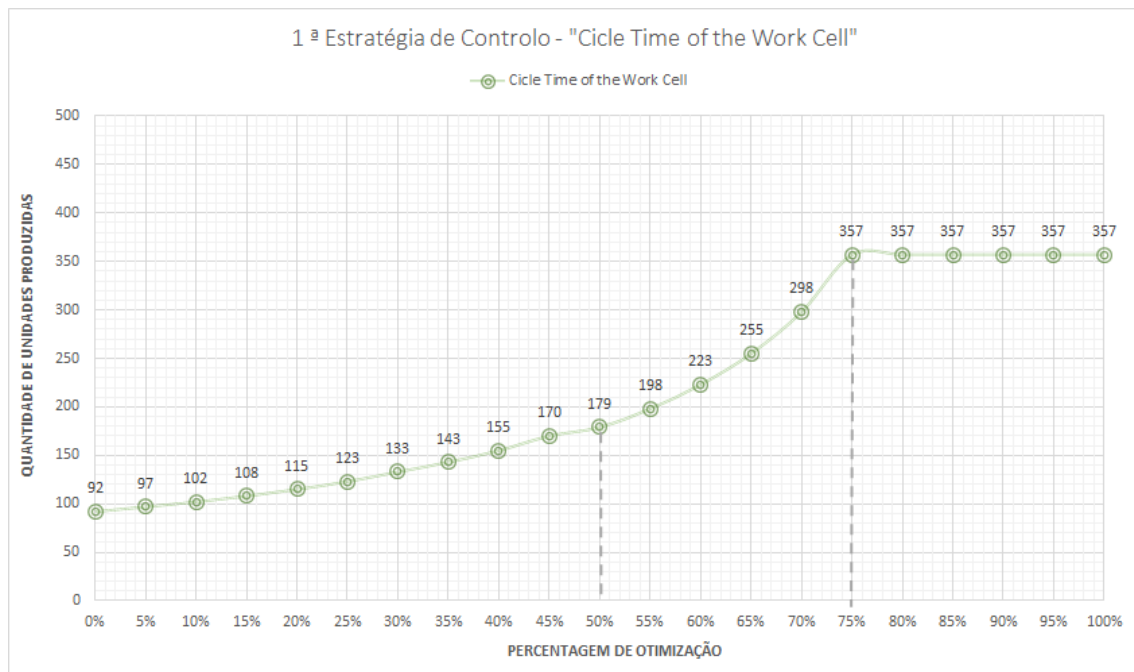


Figura 81 – Resultados referentes à 1ª estratégia de controlo.

Este estudo pretende demonstrar que, utilizando mais um operador na célula de produção, se obtém um aumento nas unidades produzidas, como se pode visualizar no gráfico da figura 81. Pode-se concluir que o novo operador influencia de uma forma positiva a produção, não só no aumento de unidades produzidas, mas também na diminuição do tempo necessário à produção de uma determinada quantidade de unidades. Salienta-se que o recurso à utilização de mais um operador teria impacto até 100% na percentagem de melhoria (este valor representa uma redução de metade do tempo de ciclo), o que traduz um aumento de 87 unidades produzidas, proporcionando um total de 179 unidades. Analisando o gráfico da figura 81, verifica-se que ainda existe margem para aumentar o número de unidades produzidas, com a introdução de mais um operador, mas salienta-se que o recurso a um novo operador seria explorado apenas a 50%, pois como se pode visualizar no gráfico, quando se atinge o valor de 357 unidades produzidas, também se atinge a capacidade máxima das máquinas, sendo necessário incorporar a segunda estratégia de controlo (tempo de processamento das máquinas) ou a quarta estratégia de controlo (capacidade das máquinas), de modo a aumentar o rendimento do operador e correspondente célula de produção.

### 5.5.2 Estratégia 2 - Tempo de Processamento das Máquinas.

De seguida, procede-se ao estudo sobre o impacto da segunda estratégia de controlo.

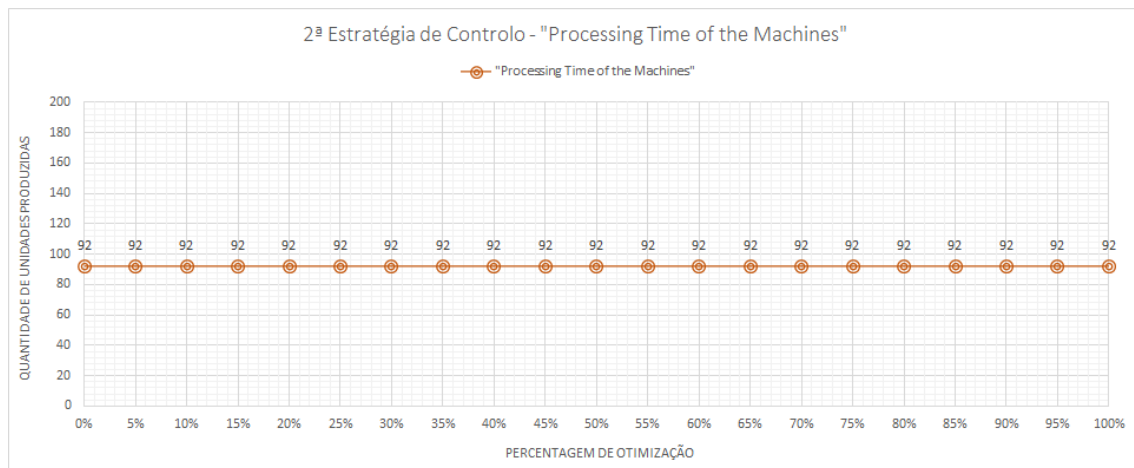


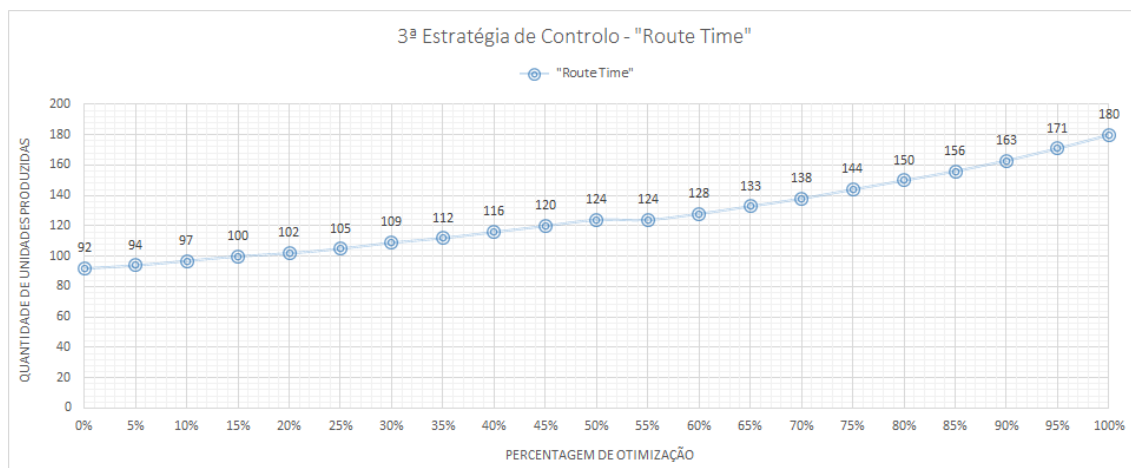
Figura 82 – Resultados referentes à 2ª estratégia de controlo.

Analisando o gráfico da figura 82, conclui-se que a utilização desta estratégia, de forma isolada não provoca qualquer alteração na quantidade de unidades produzidas. Esta estratégia deve ser utilizada na eventualidade de se verificar filas de espera em algum dos diferentes procedimentos da célula de produção, ou na eventual alocação de mais do que um operador o que fará com que o *cicle time* diminua. Nessa eventualidade, teria de se analisar até que ponto a aplicação da primeira e segunda estratégia de controlo poderiam traduzir-se em um aumento do número de unidades fabricadas.

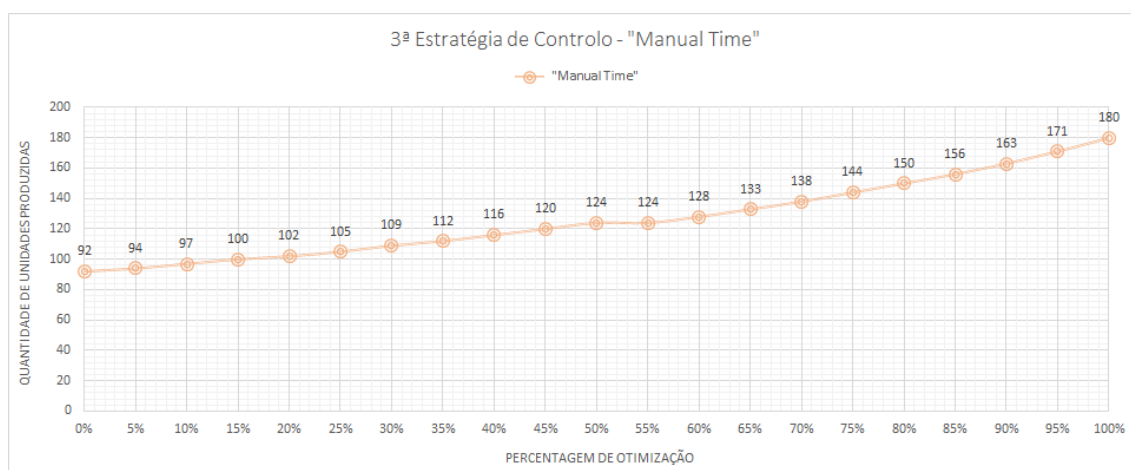
### 5.5.3 Estratégia 3 - Tempo de Processamento do Operador.

De seguida, procede-se ao estudo do impacto da terceira estratégia de controlo, a qual está relacionada com a melhoria do tempo de processamento do operador e pode ser realizada de forma independente (melhoria do tempo de rota ou melhoria do tempo do procedimento manual), ou em conjunto (melhoria do tempo de Rota e a melhoria do tempo do procedimento manual).

A utilização desta estratégia de controlo, procura demonstrar até que ponto a diminuição do tempo de rota (tempo de deslocação entre procedimentos) e/ou a diminuição do tempo de realização do processo manual por parte do operador poderá influenciar na quantidade de unidades produzidas. De seguida, procede-se ao estudo do impacto da terceira estratégia de controlo, mais concretamente a melhoria do tempo de rota (ver figura 83).

Figura 83 – Resultados 3ª estratégia (*Route Time*).

De seguida, procede-se ao estudo do impacto da terceira estratégia de controlo, mais concretamente a melhoria do tempo do procedimento manual (ver figura 84).

Figura 84 – Resultados 3ª estratégia (*Manual Time*).

Ao analisar os resultados presentes nos gráficos das figuras 83 e 84, chega-se à conclusão que para uma melhoria de 180 unidades produzidas ter-se-ia que otimizar o tempo de operação realizado pelo operador na estratégia três em 100%. Como não é possível eliminar a componente humana no manuseamento da lima na realização dos diferentes procedimentos ao longo da célula de produção, não é aplicável a utilização desta estratégia a um nível de 100%. O estudo do impacto desta estratégia deve ser realizado inicialmente para pequenas percentagens de otimização com o objetivo de minimizar o tempo do operador e na eventualidade de haver um aumento gradual de encomendas. Deste modo, seria necessário estudar a melhor forma (utilizando ferramentas *Lean*) de otimizar a célula de produção de forma gradual, de modo a responder às quantidades a fabricar. Seguidamente, procede-se ao estudo do impacto da melhoria do tempo de rota e melhoria do tempo do procedimento manual em conjunto.



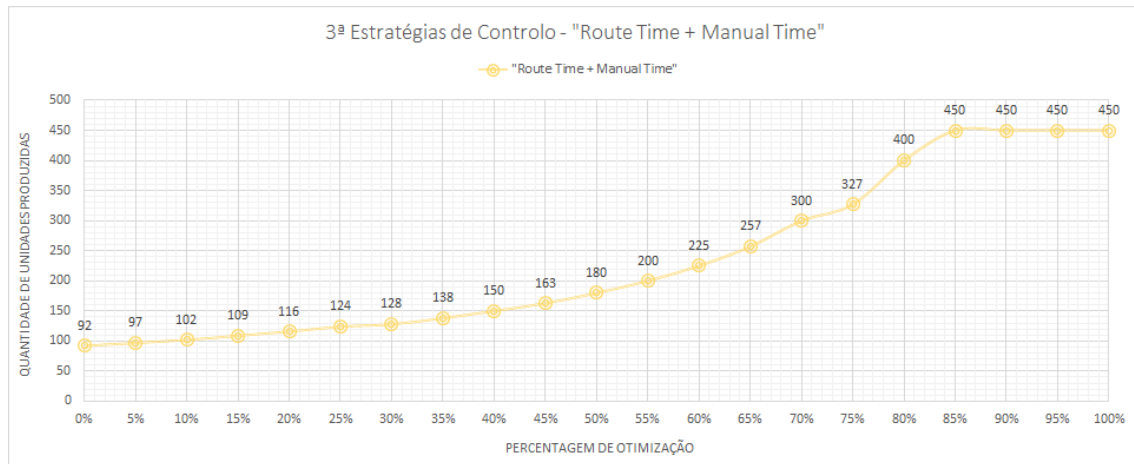


Figura 85 – Resultados 3ª estratégia (*Route Time + Manual Time*).

Ao analisar os resultados presentes no gráficos da figura 85, conclui-se que se pode obter resultados superiores, otimizando o tempo de rota e o tempo de operação manual em conjunto. O gráfico da figura 85 traduz percentagens de melhoria equivalentes para os dois procedimentos ao longo do estudo. O utilizador pode parametrizar estes valores de forma a obter os melhores resultados possíveis.

#### 5.5.4 Estratégia 4 - Capacidade das máquinas.

De seguida, procede-se ao estudo sobre o impacto da quarta estratégia de controlo.

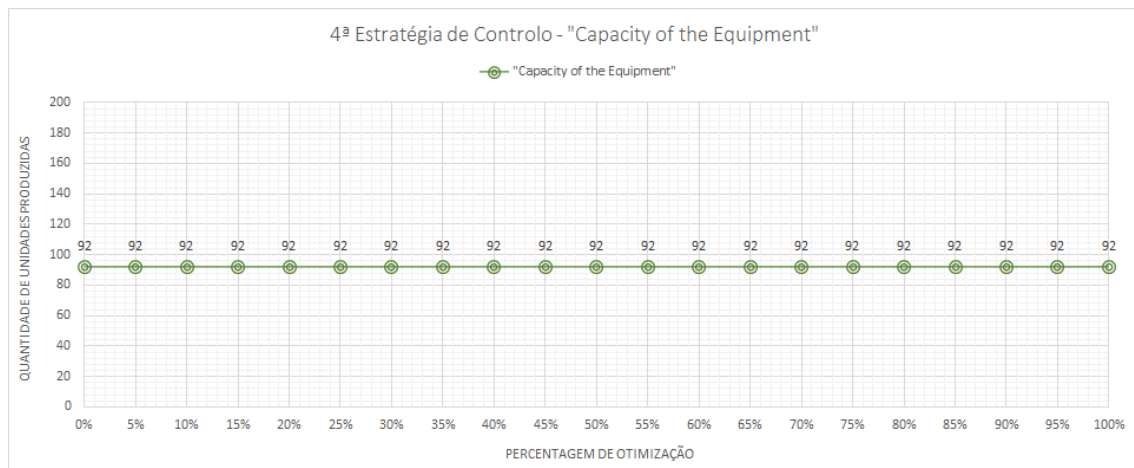


Figura 86 – Resultados referentes à 4ª estratégia de controlo.

Analisando o gráfico da figura 86, conclui-se que a utilização desta estratégia de forma isolada não provoca qualquer alteração na quantidade de unidades produzidas. A estratégia 4, deve ser utilizada quando se verificar filas de espera em algum dos diferentes procedimentos da célula de produção, ou na eventual alocação de mais do que um operador, o que fará com que o *cicle time* diminua. Nessa eventualidade, teria de se analisar em que ponto a aplicação da primeira e quarta estratégia se poderiam traduzir num aumento do número de unidades fabricadas.

### 5.5.5 Estratégia 1; 2 - Tempo entre chegadas; Tempo de Processamento das Máquinas.

De seguida prossegue-se à análise da combinação da primeira e segunda estratégias de controlo.

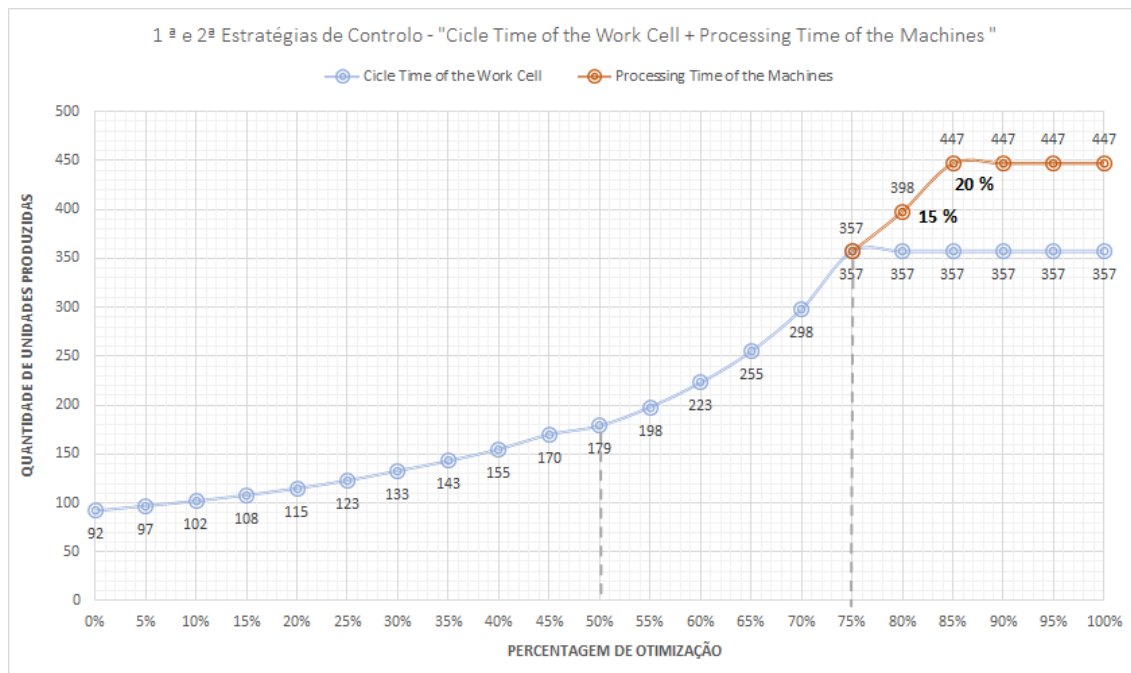


Figura 87 – Resultados referentes à 1ª e 2ª estratégia de controlo.

Analisando o gráfico da figura 87, conclui-se que se obtém a quantidade de 92 unidades com o primeiro operador. Com a introdução do segundo operador, obtém-se um máximo de 179 unidades. A introdução de um terceiro operador não faria sentido, pois só se obteria um rendimento deste em 50% com um aumento até 357 unidades. De modo a aumentar o rendimento do terceiro operador e, consequentemente, da célula de produção, seria efetuado o estudo do impacto da segunda estratégia de controlo, com a qual é possível observar um aumento das unidades produzidas, isto é, se for possível otimizar em 15% o tempo de processamento a quantidade de unidades aumenta de 357 para 398. Se se otimizar em 20% o tempo de processamento, a quantidade de unidades aumenta de 357 para 447. Salienta-se que a introdução desta estratégia só faria sentido se fossem alocados três operadores à célula de produção.

### 5.5.6 Estratégia 1;3 - Tempo entre chegadas; Tempo de Processamento do Operador.

Prossegue-se com o estudo do impacto que a primeira e terceira estratégia de controlo teriam na melhoria da produção, mais concretamente o impacto resultante da diminuição do tempo de rota e a diminuição do tempo de operação manual. Como já foi referido anteriormente, a terceira estratégia de controlo está relacionada com a melhoria do tempo de processamento do operador, e pode ser realizada de forma independente (melhoria do tempo de rota ou melhoria do tempo do procedimento manual) ou em conjunto (melhoria do tempo de rota mais a melhoria do tempo do procedimento manual). Seguidamente, procede-se à análise do tempo entre chegadas, com a associação da melhoria do *route time* (ver figura 88).

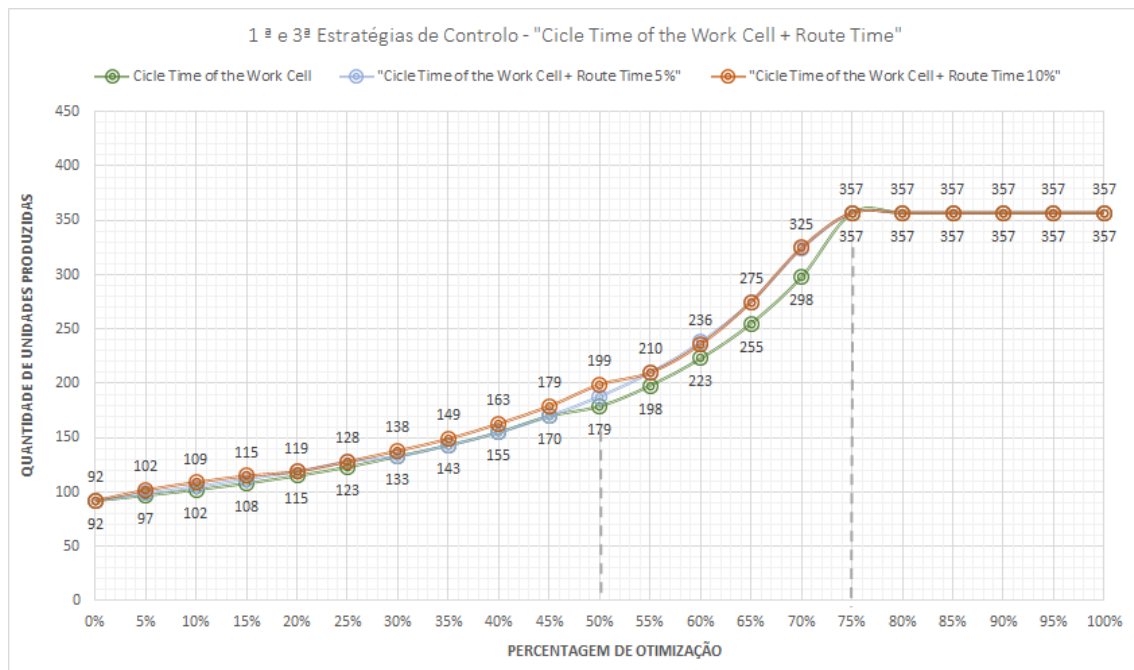


Figura 88 – Resultados referentes à 1ª e 3ª estratégia de controlo.

Analisando os resultados obtidos no gráfico da figura 88, chega-se à conclusão que para uma otimização de 5% do tempo de rota verifica-se um aumento das unidades produzidas. Salienta-se que com o aumento gradual da percentagem de otimização (5%, 10%, 15%...), se verifica um aumento correspondente de unidades produzidas. Na análise correspondente ao tempo entre chegadas com a associação da melhoria do tempo do procedimento manual, observou-se que os resultados obtidos são equivalentes aos resultados da análise anterior. Conclui-se que a melhoria do tempo de rota ou a melhoria do tempo de procedimento manual, quando realizados separadamente e na mesma percentagem não provocam resultados distintos no modelo.

De seguida, procede-se à análise do tempo entre chegadas, com a associação da melhoria do tempo de rota mais a melhoria do tempo do procedimento manual.

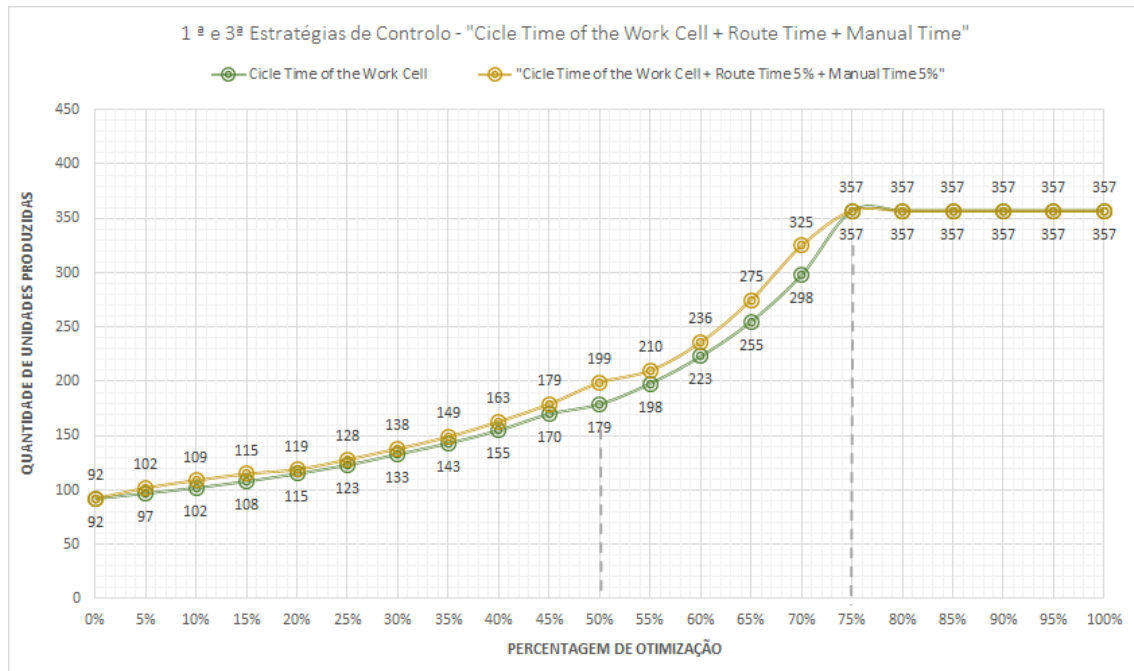


Figura 89 – Resultados referentes à 1ª e 3ª estratégia de controlo.

Analisando os resultados obtidos no gráfico da figura 89, chega-se à conclusão que para uma otimização de 5% do tempo de rota e uma otimização de 5% do tempo do procedimento manual, se verifica um aumento das unidades produzidas. Conclui-se que a combinação das estratégias anteriores resultam num aumento gradual de unidades produzidas. Salienta-se que os resultados obtidos para uma otimização de 5% desta combinação, são equivalentes aos resultados obtidos anteriormente para uma otimização de 10%, isto é, se não for possível aumentar mais do que 5% no tempo de rota, pode-se tentar otimizar mais 5% no tempo de procedimento manual, obtendo no final resultados equivalentes. A combinação de mais um ou dois operadores e a diminuição dos tempos de operação (tempo de rota e tempo manual), resultam num aumento muito significativo da quantidade de unidades produzidas.

### 5.5.7 Estratégia 1;4 - Tempo entre chegadas; Capacidade das máquinas.

Seguidamente, será analisada a combinação da primeira e quarta estratégias de controlo. A quarta estratégia de controlo, incide na introdução de mais equipamentos (máquinas), de modo a aumentar a capacidade de cada procedimento.

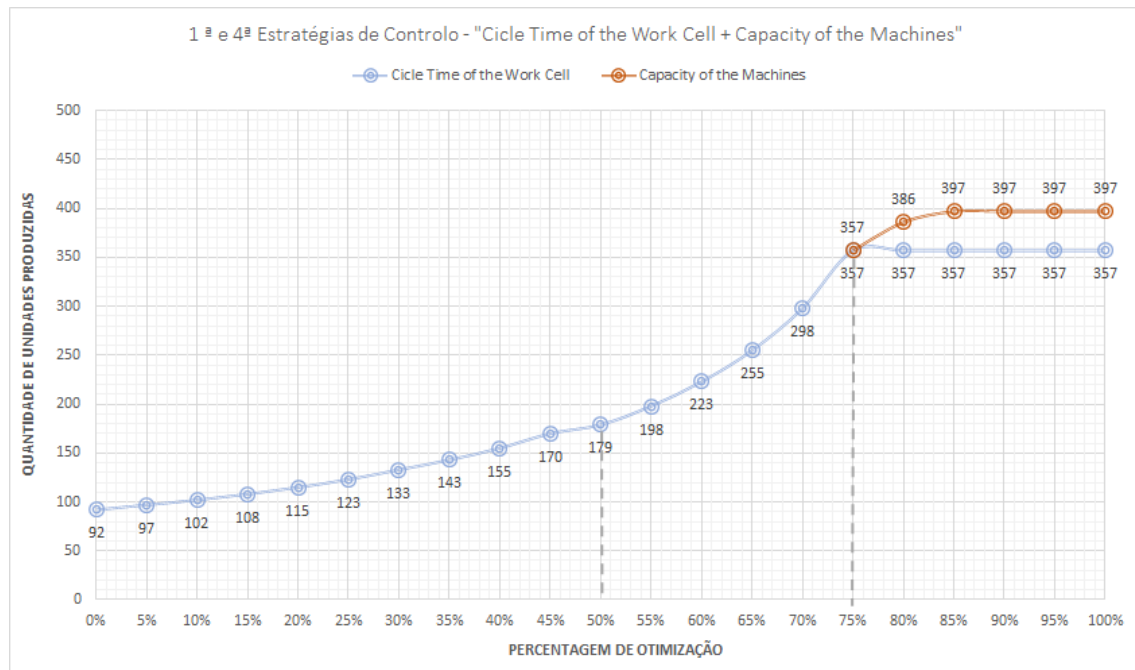


Figura 90 – Resultados referentes à 1ª e 4ª estratégia de controlo.

A introdução desta estratégia justifica-se caso forem alocados três operadores à célula de produção, pois com o aumento do tempo disponível de operação, existe como se pode verificar na figura 90 um aumento da quantidade de unidades produzidas. Com o aumento contínuo seria de esperar a existência de filas de espera no sistema, havendo a necessidade de incorporar a quarta estratégia de controlo por forma a verificar o impacto desta. O número mínimo de operadores necessários à produção de uma determinada célula, pode ser calculado através da divisão do tempo de ciclo manual pelo *Takt Time*. Analisando o modelo de simulação, conclui-se que após o aumento da capacidade do segundo procedimento em uma unidade, a quantidade de unidades produzidas passou de 357 unidades para 386 unidades. Aumentando a capacidade dos procedimentos 1, 2 e 4, a quantidade de unidades produzidas passa de 386 unidades para 397 unidades. Com a informação anterior o utilizador pode decidir qual a estratégia que provoca um maior impacto na melhoria da produção. Claro que os custos associados à segunda estratégia (melhoria do tempo de processamento automático da máquina) e quarta estratégia (melhoria recorrendo à aquisição de mais equipamentos) também devem ser cuidadosamente considerados, devido aos custos implícitos na aquisição de mais equipamentos.

### 5.5.8 Estratégia 2;3 - Tempo de Processamento das Máquinas; Tempo de Processamento do Operador.

A combinação da segunda estratégia com a terceira estratégia não necessita de ser analisada, visto que quando se observou a implementação da terceira estratégia, não se verificaram filas de espera no modelo, alcançando este um máximo de 180 unidades produzidas, como se pode visualizar na figura 91. Deste modo, não existe a necessidade de minimizar o tempo de processamento das máquinas, pois esta ação não teria qualquer impacto no modelo analisado.

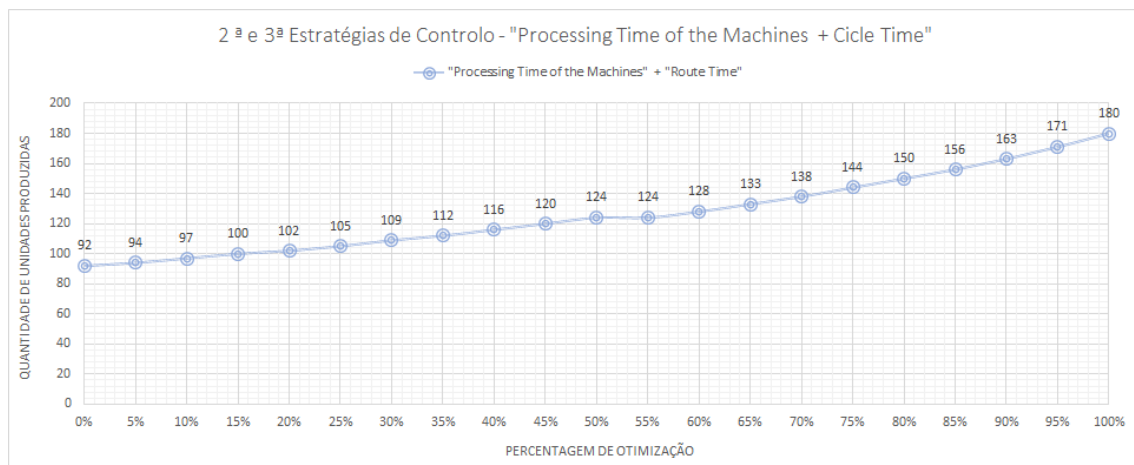


Figura 91 – Resultados referentes à 2ª e 3ª estratégia de controlo.

### 5.5.9 Estratégia 3;4 - Tempo de Processamento do Operador; Capacidade das máquinas.

Como se verificou no caso anterior, a combinação da terceira estratégia com a quarta estratégia quatro não necessita de ser analisada, visto que quando se estudou a implementação da terceira estratégia, não se verificaram filas de espera no modelo, alcançando este um máximo de 180 unidades produzidas, como se pode visualizar na figura 91. Deste modo, não existe a necessidade de aumentar a capacidade dos equipamentos, pois esta ação não teria qualquer impacto no modelo analisado.

## 5.6 Avaliação de Desempenho das Estratégias de Controlo

As estratégias que causam um maior impacto no sistema operativo são a implementação da primeira estratégia e da terceira estratégia, ou a implementação das duas em simultâneo. A representação gráfica da figura 92 traduz a comparação entre as estratégias mencionadas anteriormente. Dependendo do número de unidades a produzir e do tempo disponível, é possível seleccionar entre aplicar a primeira ou a terceira estratégia, ou a combinação das duas, de forma a otimizar o sistema produtivo.

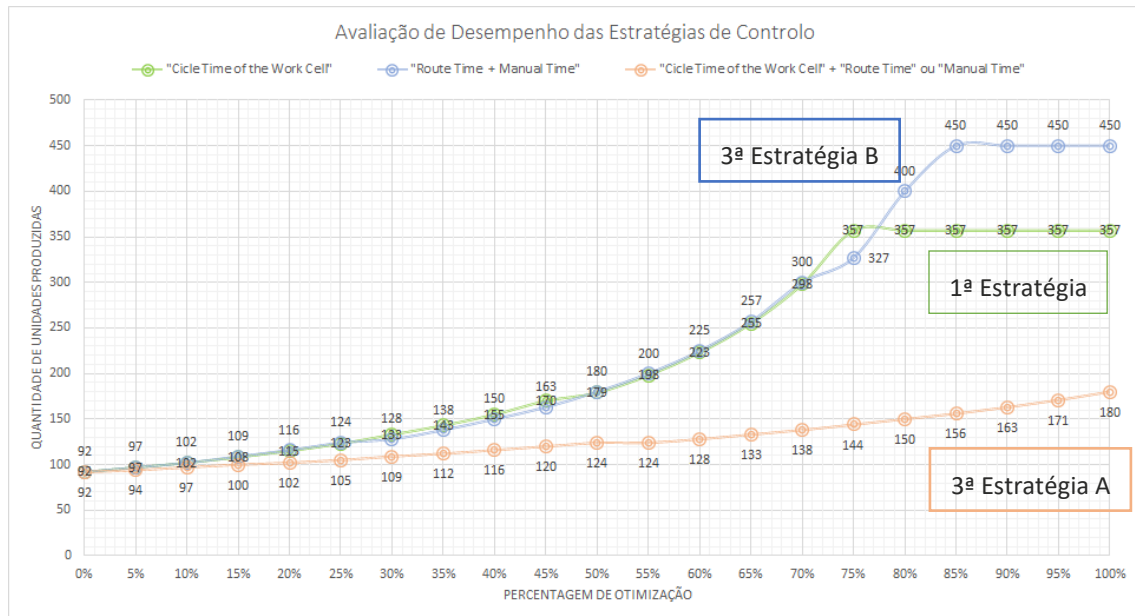


Figura 92 – Comparação da Otimização do processo através da 1ª e 3ª estratégia.

Conclui-se que a primeira estratégia e a terceira estratégia (B - *Route Time* e *Manual Time*), causam um maior impacto na produção. A terceira estratégia (A- *Route Time* ou *Manual Time*) causa um menor impacto na quantidade de unidades produzidas.

Se a empresa não possuir recursos humanos para alocar à célula de produção, tem como solução a melhoria através da terceira estratégia de controlo. Foi demonstrado ao longo do estudo que existem  $n!$  (sendo  $n \leq 4$ ;  $n > 0$ ) combinações possíveis que podem ser utilizadas na melhoria das células de picagem. Deste modo, depende do utilizador escolher a ou as estratégias que iram resultar num maior impacto no estudo que pretende realizar.

Desta forma a utilização do programa GAMS CPL é uma mais-valia para qualquer empresa, pois é possível simular uma variabilidade de realidades do sistema de produção e proceder a simulações da melhoria do processo, recorrendo às estratégias de controlo, podendo comparar e verificar qual a estratégia a seguir por forma a promover o maior impacto no sistema produtivo.

As estratégias de controlo foram desenvolvidas para o sector da produção, sendo implementadas para avaliar no desempenho impacto das células de picagem simples e picagem dupla de limas chatas da empresa SNA Europe (ver tabela 42).

Tabela 42 – Resultados relativos à implementação das estratégias de controlo.

Estratégia	Descrição da Estratégia	Análise de Resultados
Estratégia 1	Melhorar os recursos afetos à célula de produção.	Considerando alocação de mais um operador. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento de produção em 94,56%.</li> <li>▪ Diminuição do tempo de produção em 50%.</li> <li>▪ Não se verificam <i>botleneks</i> após a implementação da estratégia.</li> </ul>
Estratégia 2	Melhorar o tempo do processo automático do equipamento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Após o teste de diferentes percentagens não se observou qualquer oscilação na quantidade de unidades produzidas.</li> <li>▪ Esta estratégia não deve ser aplicada de forma isolada.</li> </ul>
Estratégia 3	Melhorar o tempo de rota e tempo de operação manual realizado pelo operador.	Considerando uma otimização de 10%: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Route time</i> – Aumento de produção em 5,4 %.</li> <li>▪ <i>Manual time</i> - Aumento de produção em 5,4 %.</li> <li>▪ <i>Route time</i> e <i>manual time</i> – Aumento de produção em 10,87 %.</li> </ul>
Estratégia 4	Melhorar a capacidade da célula de produção em relação ao número de equipamentos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Após o teste de diferentes percentagens não se observou qualquer oscilação na quantidade de unidades produzidas.</li> </ul> <p>Esta estratégia não deve ser aplicada de forma isolada.</p>
Estratégia 1; 2	Melhorar os recursos afetos à célula de produção; Melhorar o tempo do processo automático do equipamento.	Considerando alocação de mais dois operadores. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rendimento de 50% do 3º operador traduz-se em 357 unidades.</li> <li>▪ Verifica-se a existência de <i>botleneks</i>, testar 2ª estratégia.</li> <li>▪ Rendimento de 60% do 3º operador com otimização de 15% da 2ª estratégia traduz-se em 398 unidades.</li> <li>▪ Rendimento de 70% do 3º operador com otimização de 20% da 2ª estratégia traduz-se em 447 unidades.</li> </ul>
Estratégia 1; 3	Melhorar os recursos afetos à célula de produção; Melhorar o tempo de rota e tempo de operação manual.	Considerando alocação de mais um operador e <i>route time</i> a 10%. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento de produção em 116,6%.</li> <li>▪ Diminuição do tempo de produção em 51,4%</li> <li>▪ Rendimento de 10% do 2º operador, traduz-se num aumento de 18,5% na quantidade de unidades produzidas.</li> <li>▪ Não se verificam <i>botleneks</i> após a implementação da estratégia.</li> </ul> <p>Considerando combinação do tempo de rota e de operação manual em 5%.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento de produção, em 116,6%.</li> <li>▪ Diminuição do tempo de produção, em 50%</li> </ul>
Estratégia 1; 4	Melhorar os recursos afetos à célula de produção; Melhorar a capacidade da célula de produção.	Considerando alocação de mais dois operadores. <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rendimento de 50% do 3º operador, traduz-se em 357 unidades.</li> <li>▪ Rendimento de 60% do 3º operador, com a introdução de mais um equipamento no 2º procedimento, traduz-se, em 386 unidades.</li> <li>▪ Rendimento de 70% do 3º operador, com a introdução de mais um equipamento no 1º, 2º e 4º procedimento, traduz-se em 397 unidades.</li> </ul>
Estratégia 2; 3	Melhorar o tempo do processo automático do equipamento;	A combinação da segunda estratégia com a terceira estratégia não necessita de ser analisada, visto que quando se observou a implementação da terceira estratégia, não se verificou filas de espera no modelo de simulação.
Estratégia 3; 4	Melhorar o tempo de rota e tempo de operação manual;	





## 6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

6.1 Introdução

6.2 Principais contributos do Trabalho

6.3 Carácter Inovador do Trabalho

6.4 Trabalho Futuro



## 6 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

### 6.1 Introdução

A presente dissertação foi desenvolvido no âmbito do Curso de Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto e foi realizada em contexto industrial (período de cinco meses) na empresa SNA Europe [industries], LDA, empresa do grupo Americano Snap-on (USA), localizada em Vila do Conde (Junqueira).

### 6.2 Principais contributos do Trabalho

De seguida, apresentam-se os principais contributos do trabalho desenvolvido:

- Melhoria do processo de picagem simples e picagem dupla através do desenvolvimento de modelos de simulação. Verificou-se a possibilidade de alterar a configuração do processo, designadamente através da introdução de processos automatizados, em detrimento do processo manual atual. A tabela 43 apresenta os resultados obtidos relativamente à avaliação de desempenho, enquanto que a tabela 44 apresenta os resultados obtidos na avaliação do impacto económico.

Tabela 43 – Resultados relativos à avaliação de desempenho.

Crítérios de Avaliação	Descrição de Resultados
Tempo de Laboração	Diminuição de 59 horas, relativas a 1 mês de laboração. Em termos percentuais, perfaz uma diminuição de 23% no tempo total de produção do lote de limas estudado.
Taxa de Ocupação dos Equipamentos	Em termos percentuais, a média da taxa de ocupação do sistema atual apurada é igual a 25%. Através do estudo de desenvolvimento de modelos de simulação, a taxa média de ocupação verificada aumentou para 78%.
Quantidade de Unidades Produzidas	Em relação aos modelos analisados, houve em média um aumento de 23,65% de unidades produzidas por hora e um aumento de 22,20% no total de limas produzidas mensalmente.

Tabela 44 – Resultados do Estudo de Avaliação do Impacto Económico.

Crítérios de Avaliação	Descrição de Resultados
Investimento	De forma a fabricar todos os modelos de lima, é necessário um investimento em 18 equipamentos, o que perfaz um total de 990 000 €.
Amortização	O investimento total mencionado anteriormente pode ser totalmente amortizado num prazo de 31 meses, ou 2,6 anos.
Retorno Mensal	O retorno mensal irá oscilar entre os 3 850 € e os 12 300 €, dependendo dos modelos produzidos. Considerando todos os modelos analisados, a empresa pode esperar um retorno mensal total de aproximadamente 34 000 €.

- Desenvolvimento do GAMS CPL (gerador automático de modelos de simulação de células de picagem), o qual permite avaliar o impacto da implementação de diferentes estratégias de controlo na melhoria das células onde se processa a picagem das limas. Existem  $n!$  (sendo  $n \leq 4$ ;  $n > 0$ ) combinações possíveis que podem ser utilizadas na melhoria das células de picagem. No decorrer do estudo, verificou-se um aumento gradual na quantidade de unidades produzidas, com a aplicação das estratégias de controlo.

### 6.3 Carácter Inovador do Trabalho

Do ponto de vista estritamente científico, no âmbito desta dissertação, foram desenvolvidas quatro estratégias de controlo, cuja importância resulta do facto de estas terem por objetivo o apoio à decisão na gestão da produção e a validação do impacto que a sua implementação terá no processo de picagem de limas. Deste modo no âmbito do GAMS CPL implementou-se as seguintes estratégias de controlo para a produção, as quais podem ser combinadas entre si:

- Tempo entre chegadas. Melhoria dos recursos afetos à célula de produção.
- Tempo de processamento das máquinas. Melhoria do processo automático de picagem realizado pelo equipamento.
- Tempo de processamento do operador. Melhoria do tempo de rota e tempo da operação manual realizados pelo operador.
- Capacidade das máquinas. Melhoria da capacidade da célula de produção, relativamente aos equipamentos.

A ferramenta de apoio à decisão desenvolvida no âmbito deste trabalho, além de dar resposta ao objetivo pretendido, possui características intrínsecas sobre as quais se destacam:

- Genérico e flexível. Permite diferentes tipos de soluções, através da flexibilidade da ferramenta, quer quanto à configuração física da célula de produção, quer quanto às estratégias de controlo utilizadas na produção.
- Parametrizável. Na medida em que permite ao utilizador, no início da aplicação, introduzir diversos parâmetros (tempo de rota, tempo de processo manual, tempo de processo automático e estratégias de controlo) e, desta forma, testar diferentes configurações para a obtenção de uma variabilidade de resultados.
- Visual. Verificação da situação em que o sistema se encontra a cada momento, assim como a sua evolução ao longo do tempo, permitindo uma melhor compreensão da informação resultante da simulação.
- Automático. Após a introdução dos dados, a geração do modelo processa-se de forma automática.

Salienta-se o facto da utilização da simulação neste estudo ter um carácter altamente personalizado, pois a ferramenta GAMS CPL foi desenvolvida fundamentalmente para o caso particular da empresa SNA Europe. Na literatura da especialidade, não se conhece mais nenhum trabalho desenvolvido, com as características aqui apresentadas. Além disso neste mesmo trabalho foi avaliado o impacto que a implementação de diferentes estratégias de controlo irão ter na produção.

#### 6.4 Trabalho Futuro

De modo a aprofundar o tema do estudo realizado, recomenda-se como trabalho futuro o desenvolvimento de um estudo que englobe os restantes processos do ciclo de produção de limas. Recomenda-se também o estudo do impacto que um trabalho desta natureza poderá ter nos diferentes modelos de limas, fabricados nas respetivas células de produção. Em suma este trabalho pretende dar continuidade à política de melhoria continua praticada pela empresa SNA Europe.

Como trabalho futuro sugere-se também a publicação de artigos relacionados com a geração automática de modelos de simulação na área da indústria metalomecânica.



**BIBLIOGRAFIA  
E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO**





## BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

[Azadeh *et al.* 2010] Azadeh, A.; Maghsoudi, A. (2010) – Optimization of production systems through integration of computer simulation, design of experiment, and Tabu search: the case of a large steelmaking workshop, *International Journal Adv. Manuf. Technology*, (2010) pp 785–800.

[Banks *et al.* 2004] BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B., Nicol, D (2004) – Discrete-event system simulation. New Jersey: Prentice Hall 07458.

[Bergmann *et al.* 2016] Bergmann Soren, Strassburger Steffen (2016) - Challenges for the Automatic Generation of Simulation Models for Production Systems, Germany, Ilmenau University of Technology - School of Economic Sciences.

[Bernedixen *et al.* 2015] Bernedixen Jacob, H.C. Amos, Pehrsson Leif, Antonsson Tobias (2015) – Simulation-Based Multi-Objective Botleneck Improvement: Towards an Automated Toolset for Industry, *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, Sweden, Department of Engineering Science, Production and Automation Engineering University of Skövde, Volvo Car Corporation Gothenburg.

[Button *et al.* 2011] Ettore Bresciani Filho Sergio Tonini Button, Ettore Bresciani Filho, Iris Bento da Silva, Gilmar Ferreira Batalha – *Conformação Plástica dos Metais*. 1ªed. dig. - São Paulo: EPUSP, 2011. 6ª Edição (1ª digital). ISBN 978-85-86686-64-1.

[Chen *et al.* 2001] Shi-Jie Chen, Li-Chieh Chen, Li Lin, Giulia Pedrielli (2001) – Knowledge-based support for simulation analysis of manufacturing cells, *Elsevier, Computers in Industry* 44 (2001) pp 33 – 49.

[Enrique 2012] Enrique Ares, Gustavo Pelaez, Luis Pinto Ferreira, Daniel Prieto, Antonio Chao (2012) - "Optimisation of a Production Line using Simulation and Lean Techniques", in *Proceedings of the Operational Research Society Simulation Workshop 2012 (SW12)*, 27-28 March 2012, Birmingham, England.

[Ferreira 2003] Luís Pinto Ferreira – *Geração Automática de Modelos de Simulação de uma Linha de Produção na Indústria Eletrónica*, do curso de Mestrado em Engenharia Industrial - Especialização em Logística e Distribuição, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Braga-Abril 2003.

[Ferreira *et al.* 2003] Luís Pinto Ferreira, Guilherme A. Pereira, Ricardo J. Machado, (2003) – *A Simulação como Ferramenta de Apoio à Decisão na Engenharia da Produção – O Sistema GAMS*, VI Congresso Galego de Estatística e Investigación de Operacións, Vigo 5-7 de Novembro de 2003.

[Ferreira *et al.* 2005] Luís Pinto Ferreira, Guilherme A. Pereira, Ricardo J. Machado, Título: “Geração Automática de Modelos de Simulação de uma Linha de Montagem de Auto-Rádios”, Revista “Investigação Operacional”, Volume 25, Nº1, pp. 37-62, ISSN 0874-5161, Publicação Semestral, Junho de 2005.

[Ferreira *et al.* 2011] Luís Pinto Ferreira, Enrique Ares Gómez, Gustavo Peláez Lourido and Benny Tjahjono (2011) – Optimization of a Multiphase Multiproduct Production Line based on Virtual Cells, International Conference of Manufacturing Engineering and Engineering Management, Imperial College London, London, U.K., pp 616-621.

[Ferreira *et al.* 2012a] Luís Pinto Ferreira, E Ares Gómez, GC Peláez Lourido, A.Resano, C.J.Luis and Benny Tjahjono (2012) – Simulation of Closed-loop Assembly, Key Engineering Materials Vol. 502 pp, 127-132: 03 Fev 2012.

[Ferreira *et al.* 2012b] Luis Pinto Ferreira, Enrique Ares Gómez, Gustavo C. Peláez Lourido, José Diéguez Quintas, Benny Tjahjono, – Analysis and optimisation of a network of closed-loop automobile assembly line using simulation”, Springer 2012, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (IJAMT).

[Ferreira *et al.* 2013] Luís Pinto Ferreira, E Ares Gómez, GC Peláez Lourido, and Benny Tjahjono (2013) - Modeling a Complex Production Line Using Virtual Cells, (2013) Electrical engineering and intelligent systems. Springer. ISBN: 978-1-4614-2316-4.

[Freitas 2008] Freitas Filho, P. (2008) – Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas: Com Aplicações em Arena. 2ª Edição. Visual Books Ltda. ISBN: 8575022288.

[Kirchhof *et al.* 2016] Kirchhof Patrick, Stoehr Tobias (2016) - Optimization of Storage Allocation Using an Automatically Generated Warehouse Simulation Model, Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference.

[Ki-Hwan *et al.* 2015] Ki-Hwan G. Bae, Long Zheng, Farhad Imani (2015) – A Simulation Analysis of the Vehicle Axle and Spring Assembly Lines, Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference, USA, Industrial Engineering University of Louisville, KY 40292.

[Kelsey *et al.* 2016] Kelsey Clements, Kaleigh Sweeney, Abigail Tremont, Muralidhara Vipul, Michael E. Kuhl (2016) – Evaluation of Warehouse Bulk Storage Lane Depth and ABC Space Allocation Using Simulation, Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference, USA, Rochester Institute of Technology, Industrial and Systems Engineering.

[Krenczyk *et al.* 2016] D Krenczyk, B Skolud and M Olender (2016) - Semi-automatic simulation model generation of virtual dynamic networks for production flow planning, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 145 (2016), Poland, Silesian University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering.

[Mourtzis *et al.* 2014] Mourtzis, D.; Doukas, M.; Bernidaki, D. (2014) - Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. CIRP Sponsored DET 2014 Conference. Procedia CIRP 25 (2014) pp 213 – 229.

[Montevecchi *et al.* 2007] Montevecchi, J., Pinho, A., Leal, F., e Marins, F. A. S. (2007) – Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry, Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference.

[Mueller *et al.* 2007] Ralph Mueller, Christos Alexopoulos, Leon F. McGinnis (2007) – Automatic generation of Simulation Models for semiconductor Manufacturing, Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference.

[Myung *et al.* 2016] Myung-Gi Back, Dong-Kun Lee, Jong-Gye Shin, Jong-Hoon Woo - A study for production simulation model generation system based on data model at a shipyard, Elsevier (2016), International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 8 (2016) pp 496 – 510.

[Paiva 2005] António Paiva – Geração Automática de Modelos de Simulação de uma linha de produção da Indústria Têxtil, do curso de Mestrado em Engenharia Industrial, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães-2005.

[Pedgen *et al.* 2010] Pedgen, C.D.; Shannon, R.E.; Shadowski, R.P. (1995) – Introduction to simulation using SIMAN. McGraw-Hill. 2ª Edição. New York - ISBN-10: 0070493200.

[Pinto 2008] Pinto, João Paulo, Lean Thinking – Introdução ao Pensamento Magro, Editado por Comunidade Lean Thinking, 2008

[Gomes 2007] Gomes, M - Diagnóstico e desenvolvimento de soluções para melhoria da produtividade: um caso de estudo, Dissertação (Mestrado), IST/UTL, Lisboa, 2007.

[Silva] *et al.* 2007] Silva, Liane M.F; Pinto Marcel de G.; Subramanian, Anand (2007) – Utilizando o Software Arena Como Ferramenta de Apoio ao Ensino em Engenharia de Produção. In: XXVII ENEGEP. Florianópolis.

[Shaman *et al.* 2013] Shaman Gupta, Sanjiv Kumar Jain - A Literature Review of Lean Manufacturing, International Journal of Management Science and Engineering Management, 2013.

[Sherif *et al.* 2013] Sherif Mostafa, Jantane Dumrak e Hassan Soltan - A Framework for Lean Manufacturing Implementation, Production & Manufacturing Research: An Open Access Journal, 2013.

[SNA1] <http://www.bahco.com/pt-pt/our-group>, consultado em 19 de Novembro de 2016.

[SNA2] <https://www.snaeurope.com/about-us/welcome-to-sna-europe>, consultado em 19 de Novembro de 2016.

[SNA3] Manual de acolhimento da SNA Europe [Industries] LDA, consultado em 21 de Novembro de 2016.

[SNA4] [https://www.snaeurope.com/media/3243/\\_sna1886.jpg](https://www.snaeurope.com/media/3243/_sna1886.jpg), consultado em 19 de Novembro de 2016.

[SNA5] <http://snaeuropa.pai.pt>, consultado em 19 de Novembro de 2016.

[SNA6] <http://guiaempresas.universia.es/SNA-EUROPE-INDUSTRIES-IBERIA>, consultado em 20 de Novembro de 2016.

[Tannock *et al.* 2007] Tannock James; Cao Bing; Farr Richard; Byrne Mike – Data-driven simulation of the supply-chain-Insights from the aerospace sector, Elsevier 2007, International Journal of Production Economics, nº110 (2007) pp 70-84.

[Torsten *et al.* 2012] Torsten Holm, Pelle Olsson, Eva Troell Steel and its Heat treatment - a handbook , SWEREA IVF, 2012, ISBN 987-91-86401-11-5.

[Web1] <http://www.globalstressengineers.info/wpcontent/uploads/2013/11/JaguarExahighres15cropped.png>, consultado em 13 de Novembro de 2016.

[Web2] [http://www.inegi.up.pt/imagens/media/2\\_3\\_15\\_logistica.jpg](http://www.inegi.up.pt/imagens/media/2_3_15_logistica.jpg), consultado em 14 de Novembro de 2016.

[web3] <http://portuguese.wxhy.com.cn>, consultado, em 25 de Novembro de 2016.

[web4] [http://img.directindustry.com/pt/images\\_di/photo-g/68673](http://img.directindustry.com/pt/images_di/photo-g/68673), consultado em 26 de novembro de 2016.

[web5] <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571245991>, consultado em 26 de novembro.

[Werkema 2006] Werkema, Maria Cristina Catarino - Lean Seis Sigma – Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing, Série Seis Sigma, Volume 4, Werkema Editora, 2006. ISBN 85-98582-04-2.

[Young *et al.* 2001] Young Jun Son, Richard A. Wysk (2001) – Automatic simulation model generation for simulation-based, real-time shop floor control, Elsevier Science B.V. Computers in Industry 45 (2001) pp 91–308.

[Zhang *et al.* 2016] Mengyi Zhang, Andrea Matta, Giulia Pedrielli (2016) – Discrete Event Simulation: Workstation and Buffer allocation problem in manufacturing flow lines, Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference.



# ANEXOS

Anexo A – Características Técnicas do Produto

Anexo B – Validação dos Resultados Referentes à Cronometragem

Anexo C - Tabela de valores Referentes à Estratégia de Controlo  
(GAMS CPL)

Anexo D – Bibliografia e Outras Fontes de Informação





## ANEXOS

### Anexo A – Características Técnicas do Produto

O fabrico de ferramentas é uma combinação fascinante de matérias-primas, elementos básicos e da tecnologia mais moderna. As ferramentas manuais existem desde há 2,5 milhões de anos atrás, e quanto ao seu aspeto muitas delas não mudaram muito durante o século passado. No entanto, há um desenvolvimento contínuo em termos de materiais e processos de fabrico, sobre os quais a SNA concentra-se na inovação, desempenho e ergonomia [A - SNA1].

#### Anexo A.1 - Enquadramento da Lima na Gama de Produtos Fabricados na SNA Europe

Como foi referido anteriormente o estudo será centrado na operação de picagem, mais concretamente, na picagem das limas chatas simples e duplas. Desta forma os pontos que serão mencionados de seguida tem como objetivo enquadrar a lima dentro da gama de produtos fabricados pela empresa assim como facultar informação necessária à compreensão das propriedades diferenciadoras de cada tipo de lima.

##### Anexo A.1.1 - Produtos Fabricados

Dado que já foi realizada a apresentação da empresa no capítulo anterior, é importante referir a gama de produtos fabricados pela SNA Europe por forma a complementar a informação necessária para o trabalho. Deste modo como foi referido anteriormente a empresa pertencente ao grupo SNAP-ON (USA) dedica-se à fabricação e comercialização de ferramentas manuais (ver figura 93).



Figura 93 – Exemplos de ferramentas manuais fabricadas [A – SNA2].

As ferramentas manuais podem ser visualizadas na figura 93 e são designadas por tesouras de poda, carros de ferramenta, chaves de caixa, chaves de bocas, chaves de luneta, chaves de impacto, alicates, chaves de parafusos, serrotes, etc.

Em Portugal possui uma unidade de fabricação, a qual se destina à atividade metalomecânica, mais concretamente ao fabrico de quatro tipos de produto (ver figura 94): limas de engenharia, limas de motosserra, arcos e serras, assente em um sistema de produção Lean.



Figura 94 – Ferramentas manuais fabricadas pela SNA em Portugal [A – SNA2].

Da gama de produtos referidos, o foco do trabalho será o estudo da fabricação das limas de engenharia. Seguidamente serão descritos os vários modelos de limas e as respetivas características.

## Anexo A.2 - Características Técnicas das Limas

### Anexo A.2.1 - Lima como Ferramenta

Uma lima é uma ferramenta utilizada em aplicações como madeira e na metalurgia (ver figura 95) para remover pequenos fragmentos de material de uma peça de trabalho, elas são o tipo mais comum de ferramenta de desbastar. Esta ferramenta está disponível numa ampla variedade de tamanhos, formas e materiais sendo utilizada em trabalhos diferentes.



Figura 95 – Exemplos de aplicação da Lima como ferramenta [A – SNA2].

As limas variam em secção transversal, o que lhes permite realizar tarefas mais especializadas, quando uma forma específica é necessária. Uma lima pode também variar em configuração de dente de acordo com diferentes aplicações de corte.

### Anexo A.2.2 - Classificação das Limas Fabricadas pela SNA

Na empresa SNA são fabricados vários modelos de limas. Por forma a identificar e compreender qual o modelo que está a ser produzido, as limas Bahco utilizam um código (ver Figura 96) de produto, onde cada dígito contém uma fração de informação da respetiva lima. A totalidade do código contém toda a de informação que identifica a lima.

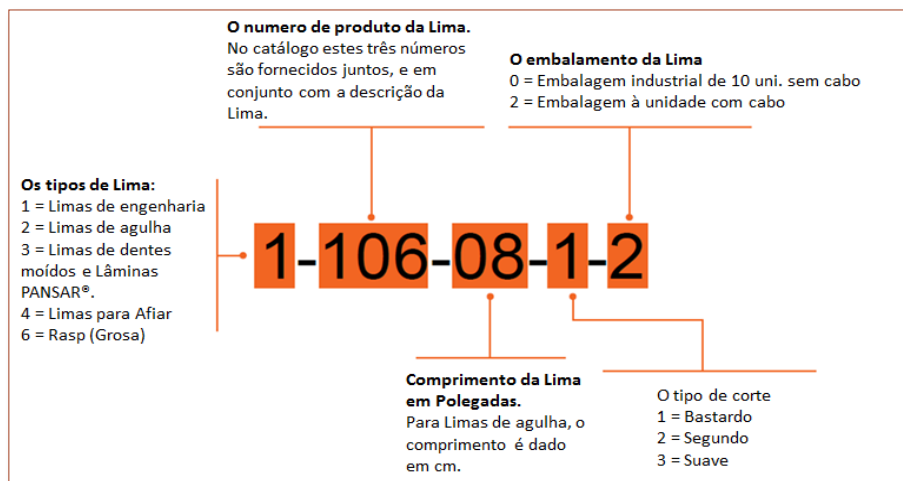


Figura 96 – Código de Identificação do produto [A – SNA2].

### Anexo A.2.3 - Tipo e Forma das Limas

As Limas podem variar na sua forma e utilização. Os tipos de limas mais comuns são: Lima plana, meia-cana, triangular, redonda, quadrada e Dupla- face. A figura 97 ilustra os exemplos referidos anteriormente.

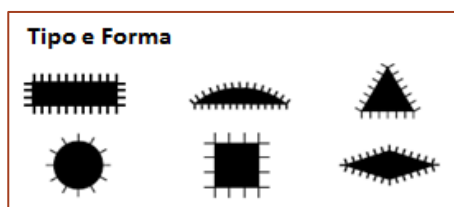


Figura 97 – Tipos e Formas mais comuns das Limas [A – SNA2].

A área sobre a qual se pretende utilizar a lima, determinará o perfil a ser utilizado. O perfil plano ou chato pode ser utilizado geralmente em superfícies planas ou convexas. O perfil de meia-cana possui dupla finalidade, lado chato para superfícies planas ou convexas e lado curvo para superfícies redondas ou côncavas. O perfil triangular é utilizado para ângulos internos agudos, por exemplo, afiação de serras, serrotes, etc. O Perfil Redondo é utilizado para ajustar formas redondas ou côncavas. O perfil Quadrado pode ser utilizado para ajustar furos retangulares ou cantos.

#### Anexo A.2.4 - Comprimento das Limas

Quanto ao comprimento das limas (ver figura 98), a gama Bahco inclui tamanhos de 4" (100 mm) de comprimento a 12" (300 mm), dependendo do tipo. O comprimento da lima mais adequada depende inteiramente do trabalho a ser realizado. O comprimento da lima é sempre indicada com a exclusão da espora, com a exceção das limas de agulha, onde esta está incluída.



Figura 98 – Comprimento da Lima como referencia [A – SNA2].

Outro aspeto importante a considerar é o tipo de corte e dente mais concretamente a picagem da lima. O dente de uma lima pode variar de inúmeros modos, como iremos observar de seguida.

#### Anexo A.2.5 - Tipo de Dente e Corte

O tipo de corte selecionado depende do material onde será realizada a tarefa, da taxa de remoção de material desejada e do tipo de acabamento pretendido. Os cortes mais comuns (ver figura 99) são: corte simples, corte duplo, corte Öberg, corte diagonal, corte moído, corte PANSAR® e rasp (grosa).



Figura 99 – Tipo de Dente e Corte da Lima (Picagem) [A – SNA2].

A informação referida anteriormente vem disponibilizada na embalagem, e é possível verificar através dos números 1 (bastardo), 2 (segundo) e 3 (suave) o tipo de dente e corte que a lima possui.

Para todas as limas de engenharia, **limas de agulha** e limas para afiar a “grossura” do corte é dada em número de dentes inteiros por cm ao longo do comprimento da lima.

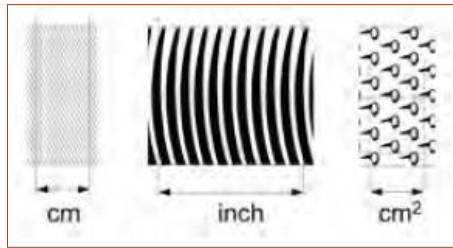


Figura 100 – Medida utilizada para identificar o grau de grossura da Lima [A – SNA2].

A regra de ouro a seguir será, quanto mais “grosso” o corte, mais material é removido. Para as limas diagonais, as limas fresadas e as lâminas PANSAR®, o grau de grossura é dado em número de dentes inteiros por polegada (ver figura 100). A grossura dos grãos é expressa em número de dentes por  $\text{cm}^2$ .

### Anexo A.3 - Categorias das Limas

As limas de mão produzidas pela empresa SNA podem ser divididas em quatro categorias principais:

- Limas de Engenharia (1-100;1-110;1-143...);
- Limas Agulha ou calado (2-302...);
- Limas para Afilar (4-138; 4-140...);
- Limas de Chapeiro (3 -330...).

Para visualizar com mais detalhe os vários modelos de limas disponíveis, pode consultar o catálogo disponibilizado pela Bahco (<http://www.bahco.com/pt-pt/catalogue>).

#### Anexo A.3.1 - Limas de Engenharia

A primeira categoria diz respeito às limas de engenharia. Esta categoria possui vários modelos, um exemplo destes é a lima paralela blister modelo 1-100 (ver figura 101), a qual é utilizada para limar superfícies planas, ângulos agudos e cantos, bem como para desbastar.

Uma lima de corte duplo deve ser usada para trabalhos com aços de liga. É útil para a afiação de blocos pesados, possui um alto grau de remoção e possui bordas paralelas. As Superfícies têm corte duplo, uma borda sem corte, outra borda de corte simples. O tipo de corte pode ser: 1 = Bastardo; 2 = 1/2 Murço.



Figura 101 – Modelos de Limas de Engenharia [A – SNA3].

Nesta categoria de limas encontra-se também a lima chata blister modelo 1-110. O qual é utilizado para limar superfícies planas, ângulos agudos e cantos, bem como para desbastar. Uma lima de corte duplo deve ser usada para trabalhos com aços de liga. É útil para a afiação de blocos pesados. Possui alto grau de remoção. Quanto à sua, esta possui bordas paralelas. As Superfícies têm corte duplo, uma borda sem corte, outra borda de corte simples. Tipo de corte pode ser: 1 = Bastardo, 2 = 1/2 Murço, 3 = Murço.

Este último exemplo diz respeito à lima para oficina, com dois cantos (tipo USA) modelo 1-143. Este tipo de lima é adequado tanto como lima para mecânica como para afiação. É útil em casos de limagem onde um acabamento fino é importante. Também é idónea para polimento e trabalho de desbaste em tornos. Esta lima é também largamente aplicada para afiação de ferramentas como pás retas e curvas, enxadas, ancinhos, etc. Quanto à sua forma, esta possui superfícies paralelas e bordas afiladas em direção à ponta. As superfícies e bordas possuem corte simples.

#### Anexo A.3.2 - Limas de Calado

A segunda categoria diz respeito às limas de Calado (needle files). Esta categoria possui vários modelos, um exemplo destes é a lima triangular (ver figura 102), a qual é utilizada para Limagem fina e polimento.



Figura 102 – Modelos de Limas de Calado [A – SNA4].

A lima é utilizada por gravadores, técnicos de precisão, fabricantes de instrumentos, relojoeiros e ourives. Quanto à sua forma, esta possui três faces sendo classificada como triangular, com bordas e superfícies afiladas para a ponta e superfícies de corte duplo. O tipo de corte pode ser: 0 = Bastardo; 1 = 1/2 Murço 2 = Murço; 4 = Muito Murço.

### Anexo A.3.3 - Limas para Afiar

A terceira categoria diz respeito às limas para afiar (Sharpening Files). Esta categoria possui vários modelos, um exemplo destes é a lima paralela para serra (ver figura 103), a qual é utilizada no afiamento de discos de serra e fita de serra.

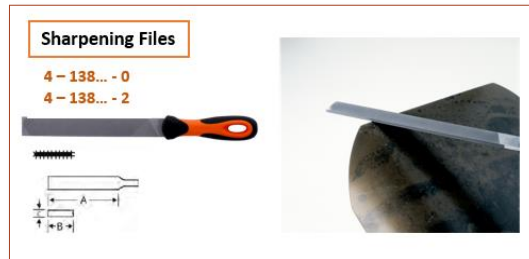


Figura 103 – Modelos de Limas para afiar [A – SNA5].

Este tipo de lima é excelente para afiar, como acabamento, polimento e desbaste. Quanto à sua forma, esta é paralela, fina e possui superfícies e bordas com corte simples, sendo uma das bordas arredondada. O tipo de corte pode ser: 1 = Bastardo;

### Anexo A.3.4 - Limas para chapeiro

A quarta categoria diz respeito às limas para chapeiro (milled files). Esta categoria possui vários modelos, um exemplo destes é a lima chata Pansar (ver figura 104), a qual é utilizada em chapas metálicas, tais como: carroçarias e frigoríficos.



Figura 104 – Modelos de Limas para chapeiro [A – SNA6].

É bastante utilizada em materiais macios quando se pretende uma grande remoção de material, mas com acabamento macio. Quanto à sua forma, esta possui dentes e faces paralelas. A sua superfície é convexa com dentes curvos e com orifícios nas extremidades para fixação ao suporte. O tipo de corte pode ser: 1 = Bastardo; 2 = 1/2 Murço;



### Anexo A.3.5 - Limas Grossa (Rasp)

Existe ainda dois tipos de limas fabricadas, que não se encontram inseridas nas quatro categorias anteriormente descritas. Trata-se do modelo de lima denominado por grossa ou “rasp” e modelo de lima para corrente de motosserra (chain saw file). Um exemplo do modelo de lima grossa, é a grossa de meia-cana (ver figura 105), a qual é utilizada em trabalhos em madeira, aglomerado, polímeros (plásticos) e outros materiais macios

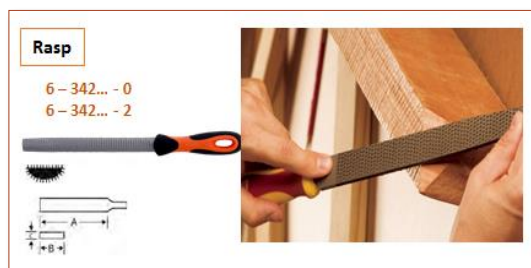


Figura 105 – Modelos de Limas para desbaste de madeira [A – SNA7].

Quanto à sua forma, esta possui bordas e superfícies afiladas em direção à ponta e superfícies com corte tipo grossa e bordas de corte simples. O tipo de corte pode ser: 1 = Bastardo; 2 = 1/2 Murço.

### Anexo A.3.6 - Limas para corrente de motosserra

Quanto às limas classificadas como limas para corrente de motosserra (chain saw file), estas são utilizadas para afiar as correntes de motosserra, mais concretamente os dentes da dita corrente. Um exemplo do modelo de lima para correntes de motosserra, são os limatões redondos para afiação de dentes (ver figura 106).

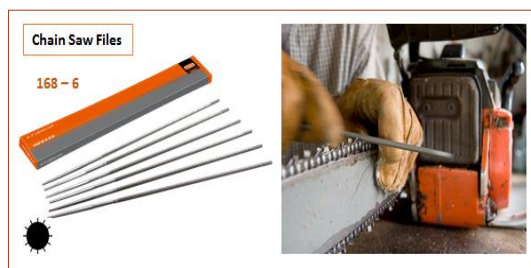


Figura 106 – Modelos de Limas para afiar correntes [A – SNA8].

Cortar com uma corrente pouco afiada consome mais combustível e provoca um desgaste excessivo. Felizmente, pode evitar este problema afiando a sua motosserra com frequência e de forma correta. O gume da corrente de uma motosserra é debilitado ao longo do tempo, mesmo que tenha evitado cortar materiais que reduzam a sua capacidade (rochas, solo etc.).

## Anexo B – Validação dos Resultados Referentes à Cronometragem

Na tabela 45, encontram-se registados os tempos, relativos a cada procedimento, referente ao processo de picagem do modelo de lima 1- 143 -06-01.

Tabela 45 – Resultados referentes às cronometragens (s).

Nº de Medições	Cronometragem dos Procedimentos (s)														
	Pegar na Lima	Mudar de Máquina	Picar 1º Canto	Mudar de Máquina	Picar 2º Canto	Mudar de Máquina	Colocar Lima no Drog	Mudar de Máquina	Picar a 1ª Face	Mudar de Máquina	Picar a 2ª Face	Mudar de Máquina	Esmerilhar Ponta	Mudar de Máquina	Pousar lima na caixa
1	0,98	1,90	2,05	1,97	2,01	2,95	6,91	3,98	3,01	3,97	1,91	3,01	1,95	0,94	0,89
2	1,05	1,95	2,03	1,99	2,06	2,98	6,93	4,02	3,05	3,95	2,05	3,05	1,93	0,99	0,95
3	1,01	2,00	1,89	1,95	1,93	3,00	6,98	3,98	2,99	4,01	2,08	2,99	1,96	1,05	0,99
4	1,00	2,04	1,95	1,98	1,95	3,08	6,99	4,03	2,97	4,03	2,02	2,97	1,98	1,07	1,05
5	1,02	2,06	1,99	2,02	2,11	3,05	7,01	4,01	3,00	3,98	1,94	3,00	2,04	1,02	1,08
6	0,91	1,97	2,03	2,05	2,02	3,02	7,00	4,05	3,02	3,98	1,95	3,02	1,99	0,89	1,12
7	1,00	1,95	2,02	2,06	1,96	3,00	6,97	3,96	3,05	3,92	2,02	3,05	2,06	0,92	1,01
8	0,94	1,98	1,95	1,98	2,03	2,92	7,01	4,02	2,98	4,03	1,97	2,98	2,12	1,00	0,95
9	0,96	2,01	1,97	1,97	1,98	2,93	7,05	3,94	3,07	4,05	2,03	3,07	2,10	1,02	0,93
10	1,08	2,06	1,96	1,95	1,94	2,99	6,89	4,02	3,03	4,01	2,10	3,03	2,06	1,04	0,99
11	1,01	1,95	2,01	1,96	2,07	3,01	6,94	3,95	2,97	3,89	1,94	2,97	1,95	0,89	1,06
12	0,90	1,99	2,03	2,01	2,01	3,02	7,03	4,05	2,93	3,87	1,93	2,93	1,98	0,95	1,09
13	1,00	2,00	1,93	2,03	2,00	3,04	7,05	3,98	3,05	4,02	1,95	3,05	2,00	1,01	0,97
14	1,00	2,05	1,95	2,04	1,98	2,98	6,98	3,94	3,08	4,04	2,05	3,08	1,95	1,05	0,96
15	1,06	2,03	1,94	1,99	1,94	2,94	6,97	3,99	3,01	4,08	2,08	3,01	1,91	1,02	0,98
16	1,03	2,08	2,08	1,92	2,09	2,98	7,01	4,02	2,89	3,95	2,01	2,89	2,01	0,95	1,01
17	1,03	1,95	2,10	2,06	2,01	3,05	7,05	3,96	2,91	3,96	1,97	2,91	2,07	1,04	1,04
18	0,98	1,98	2,04	2,07	1,98	3,01	7,04	3,94	2,97	4,02	2,00	2,97	1,98	1,05	1,03
19	1,02	2,05	2,01	2,02	2,06	3,12	6,98	4,05	3,02	4,04	1,98	3,02	1,91	0,99	0,98
20	0,91	2,03	1,97	1,95	1,95	3,03	6,95	4,06	3,07	4,10	2,02	3,07	2,07	1,03	0,96
21	1,02	1,98	1,96	1,92	1,97	3,01	6,94	3,99	3,10	4,04	1,97	3,10	2,03	1,06	0,92
22	0,96	1,95	2,01	1,99	2,00	2,97	7,09	4,07	2,99	4,03	2,05	2,99	2,01	0,97	1,02
23	0,98	1,98	2,05	2,05	2,04	2,95	7,04	4,02	2,94	3,99	2,01	2,94	2,03	0,92	1,06
24	1,06	2,00	2,03	2,05	2,10	2,93	7,01	3,96	3,00	3,92	1,99	3,00	1,95	0,95	0,97
25	0,99	2,02	1,98	2,12	2,08	3,02	6,98	3,95	3,04	3,97	2,08	3,04	1,99	1,03	1,05
26	1,03	2,10	2,11	2,08	1,99	3,04	6,96	4,03	3,07	3,98	1,92	3,07	2,04	1,05	1,01
24	0,89	2,07	1,97	2,04	1,96	3,01	7,05	3,98	3,10	4,01	2,03	3,10	2,01	0,98	0,98
28	0,91	2,02	2,08	1,98	2,01	3,08	7,02	4,01	2,97	3,94	2,01	2,97	1,99	0,92	0,96
29	1,10	2,09	2,01	1,91	1,94	3,02	7,03	3,95	2,95	4,01	1,98	2,95	1,94	0,94	1,02
30	0,98	1,93	1,95	1,97	1,95	2,96	6,98	3,98	3,01	3,97	1,94	3,01	1,95	1,00	0,98

A tabela 46 apresenta os resultados relativos à média ( $\bar{x}$ ), desvio padrão ( $s$ ), número mínimo de amostras ( $N'$ ) e o valor da variável fulcral ( $z$ ).

Tabela 46 – Avaliação dos Resultados obtidos na cronometragem.

Resultados	Procedimentos														
	1 - Pegar na Lima	2 - Mudar de Máquina	3 - Picar 1ª Canto	4 - Mudar de Máquina	5 - Picar 2ª Canto	6 - Mudar de Máquina	7 - Colocar Lima no Drog	8 - Mudar de Máquina	9 - Picar a 1ª Face	10 - Mudar de Máquina	11 - Picar a 2ª Face	12 - Mudar de Máquina	13 - Esmerilar Ponta	14 - Mudar de Máquina	15 - Pousar lima na caixa
$\bar{x}$ =	0,99	2,01	2,00	2,00	2,00	3,00	6,99	4,00	3,01	3,99	2,00	3,01	2,00	0,99	1,00
$s$ =	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$N'$ =	28	25	27	26	27	22	21	15	28	27	26	28	29	27	27
$Z$ =	-0,64	0,61	0,17	0,28	0,42	0,34	-0,63	-0,51	0,81	-0,83	-0,07	0,81	-0,13	-0,89	0,03

Os valores do número mínimo de observações necessárias resulta do cálculo para um nível de significância de 95% e um erro  $<2\%$ .

De seguida será realizado, um teste bilateral por forma a confirmar que os valores resultantes do estudo de cronometragem estão dentro da região de aceitação. Deste modo calcula-se o valor de  $Z$  (ver tabela 45) da estatística de teste e compara-se com o valor crítico correspondente ao nível de significância selecionado. Para tal será utilizada a tabela de distribuição normal, onde se identifica o intervalo dos valores mínimo e máximo para  $Z$ , considerando que o teste será realizado para um intervalo de confiança de 95% ( $-1,96 < Z < 1,96$  com um nível de significância de 5%). Será realizado o teste para o maior valor positivo e para o maior valor negativo presente na tabela.

Definir as hipóteses  $H_0$  e  $H_1$ ,  $\mu$  (média da população):

$H_0: \mu = \mu$

$H_1: \mu \neq \mu$

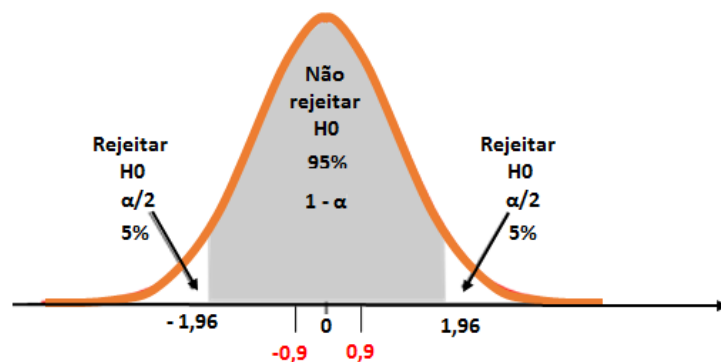


Figura 107 – Teste de duas caudas (bilateral).

Como a estatística de teste  $0,9 < 1,96$  então não se rejeita  $H_0$ . Para o nível de significância de 5%, significa que a média da amostra está em uma vizinhança de 5% da média da população pelo menos em 95% dos ciclos de trabalho.

## Anexo C - Tabela de valores Referentes à Estratégia de Controlo (GAMS CPL)

A informação contida na tabela 47 é resultante da seleção de estratégias de controlo referentes ao estudo do modelo 1-143-06-01 (ver figura 108).



Figura 108 – Modelos de Limas de Engenharia 1-143-xx-01 [A – SNA1].

Tabela 47 – Resultados das estratégias de controlo do modelo de 1-143-06-01.

Valores Resultantes das Estratégias de Controlo Referentes ao Modelo 1-143-06-01				
Optimization (%)	"Cicle Time of the Work Cell"(unid.)	Cicle Time + Route Time (unid.)	Cicle Time + Manual Time (unid.)	Cicle Time + Route Time + Manual Time (unid.)
0%	92	92	92	92
5%	97	94	94	97
10%	102	97	97	102
15%	108	100	100	109
20%	115	102	102	116
25%	123	105	105	124
30%	133	109	109	128
35%	143	112	112	138
40%	155	116	116	150
45%	170	120	120	163
50%	179	124	124	180
55%	198	124	124	200
60%	223	128	128	225
65%	255	133	133	257
70%	298	138	138	300
75%	357	144	144	327
80%	357	150	150	400
85%	357	156	156	450
90%	357	163	163	450
95%	357	171	171	450
100%	357	180	180	450

## Anexo D – Bibliografia e Outras Fontes de Informação

[A-SNA1] <http://www.bahco.com/pt-pt/our-group>, consultado em 19 de Novembro de 2016.

[A-SNA2] <http://www.bahco.com/pt-pt/p/hand-file>, consultado em 20 de Novembro de 2016.

[A-SNA3] <http://www.bahco.com/pt-pt/p/hand-file/a4-09-d8-0e-f2-c8-b2-9e-a1-2a-f2-10-ea-51-72-7f/>, consultado em 21 de Novembro de 2016.

[A-SNA4] <http://www.bahco.com/pt-pt/s/needle-files/ef-77-3d-f2-cb-8a-8d-a0-2d-be-31-34-ce-02-0c-db/>, consultado em 21 de Novembro de 2016.

[A-SNA5] <http://www.bahco.com/pt-pt/s/sharpening-files/3c-eb-5c-9b-d5-5d-a5-be-ce-a3-0d-79-28-d4-9f-55/>, consultado em 21 de Novembro de 2016.

[A-SNA6] <http://www.bahco.com/pt-pt/s/sharpening-files/3c-eb-5c-9b-d5-5d-a5-be-ce-a3-0d-79-28-d4-9f-55/>, consultado em 21 de Novembro de 2016.

[A-SNA7] <http://www.bahco.com/pt-pt/p/half-round-rasps/2b-24-ba-30-81-1a-53-b8-b1-87-7f-e0-3b-69-7e-a6/>, consultado em 21 de Novembro de 2016.

[A-SNA8] <http://www.bahco.com/pt-pt/p/chain-saw-filesbox-6-files/c8-6b-99-73-0a-ed-44-c0-ac-5f-12-56-06-ec-a1-96/>, consultado em 21 de Novembro de 2016.

